

Ossi Ruth

LAKA-Y 2,5 MW -kaasutuspolttokattilan vuosi- huoltomanuaali

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Kone- ja tuotantotekniikka

Insinöörityö

28.3.2014

Alkupuhe

Tätä alkupuhetta kirjoittaessa on kulunut lähes kuusi vuotta siitä, kun armeijan alokasajana sain isältäni puhelun, jossa hän kertoi minun tulleen hyväksytyksi kone- ja tuotantotekniikkainsinöörin koulutusohjelmaan. Tuolloin en tiennyt tulevasta alastani oikeastaan mitään muuta kuin sen, että isäni oli aikanaan saanut lähes saman koulutuksen, joten tuntui luontevalta lähteä kokeilemaan insinöörin koulutusta.

Vasta kolmantena opiskeluvuonna aloin kunnolla ymmärtämään, mihin olen oikeasti ryhtynyt. Energia-alan ollessa yksi nykymaailman tärkeimpiä peruskiviä, en voisi olla tyytyväisempi uravalintaani. Jotkut alani opiskelijat tulevat oikeasti muuttamaan maailmaa esimerkiksi uusien, puhtaampien ja tehokkaampien energiantuotantoratkaisuiden avulla. Toivon joskus olevani yksi heistä.

Koulusta sain teorianopetusta, jota en kuitenkaan täysin ymmärtänyt. Vasta Tuusulan Energiaan päästyäni aloin vähitellen käsittää tekniikan käytännön asioita, ja koulun opetus alkoi viimein loksahdella paikalleen pala kerrallaan. Kiitos toimitusjohtaja Antti Vaittinen, että annoit minulle mahdollisuuden tulla oppimaan yritykseesi. Haluan esittää kiitoksen myös muille työkavereilleni, erityisesti laitosmies Aleksi Piriselle, kaikesta opettamastanne. Ilman saamaani arvokasta kokemusta olisin kaukana siitä insinööristä, joka minusta nyt tulee.

Haluan esittää kiitoksen vanhemmilleni, joiden henkinen ja taloudellinen tuki ovat olleet korvaamattomia menneiden vuosien ala- ja ylämäissä. Erityiskiitos isälleni Juhani Ruthille kaikesta siitä motivaatiosta jonka olet elämäsi esimerkillä antanut. Kiitos myös äidilleni, Tuula Ruthille, kaikesta pyyteettömästä avusta ja huolenpidosta, vaikken enää kattonne alla asunutkaan. Kiitos teille siitä, että olette antaneet parhaan mahdollisen alun elämälleni.

Järvenpäässä 3.3.2014

Ossi Juhani Ruth

Tekijä Otsikko	Ossi Ruth LAKA-Y 2,5 MW -kaasutuspolttokattilan vuosihooltomanuaali
Sivumäärä Aika	50 sivua + 1 liite 28.3.2014
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Kone- ja tuotantotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Energia- ja ympäristötekniikka
Ohjaajat	Tutkintovastaava Tomi Hämäläinen Toimitusjohtaja Antti Vaittinen
<p>Tämä insinööri työ käsittelee Tuusulan Energia Oy:n LAKA-Y 2,5 MW -kaasutuspolttokattilan vuosihoitoa. Insinööri työssä tarkastellaan myös vuosihoitoon havaittuja epäkohtia ja niiden korjaamista.</p> <p>Insinööri työssä käsitelty kaasutuspolttokattila tuottaa pääasiassa prosessilämpöä Parma Oy:n betonielementtitehtaalle ympäri vuoden. Osaa kattilan tuottamasta lämmöstä käytetään myös alueen toimistotilojen ja pienempien teollisuushallien lämmitykseen. Kattilalle suoritetaan nuohous ja huolto kesäisin, jolloin lämmöntarve on pienin.</p> <p>Insinööri työnä tehdyn vuosihoitomanuaalin taustamateriaalina toimivat vuosien 2012 ja 2013 revisioissa saadut käytännön kokemukset. Kokemukset koottiin selkeään ohjekirjaan, jonka tarkoitus on mahdollistaa lämpökattilan vuosihoitoon suoritus mahdollisimman omatoimisesti.</p> <p>Insinööri työssä käydään myös yleisesti läpi arinakattiloiden rakenteet ja palamisprosessi, likaantumista, kuonaantumista ja korroosiota aiheuttavat ilmiöt, sekä laitoksella käytettävät biopolttoaineet.</p>	
Avainsanat	kaukolämpö; kaasutuspoltto; lämpökattila; bioenergia; hake

Author	Ossi Ruth
Title	Manual for the Annual Maintenance of LAKA-Y 2,5 MW Gas-sing-Burner Boiler
Number of Pages	50 pages + 1 appendix
Date	28 March 2014
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Mechanical Engineering
Specialisation option	Energy- and Environmental Engineering
Instructors	Tomi Hämäläinen, Lecturer Antti Vaittinen, CEO
<p>This Bachelor's thesis deals with Tuusula's Energy Ltd's 2,5 MW -gassing-burner boiler's annual maintenance. The thesis also examines the discovered defects and how to repair them.</p> <p>The addressed boiler of this thesis produces mainly process heat for Parma Ltd's concrete element factory throughout the year. A part of the heat produced by the boiler is also used to warm up the area's offices and smaller industrial buildings. The boiler undergoes a yearly sweeping and maintenance during the summer when the demand for heating is at minimum.</p> <p>The background material for this thesis consists of hands-on experiences of the 2012 and 2013 revisions. The experiences were then gathered into a clear manual, which is intended to enable the boiler's annual maintenance with as little outside guidance as possible.</p> <p>This thesis also covers, in general, the structures of grate boilers and the process of burning, the phenomena behind fouling, slagging and corrosion, and also the biofuels used at the heating plant.</p>	
Keywords	district heating; gassing-burning; heating boiler; bioenergy; wood chip

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Yritykset	2
2.1	Tuusulan Energia Oy	2
2.1.1	Palkkitien prosessi- ja kaukolämpölaitos	3
2.1.2	Ristikiven yritysalueen kaukolämpölaitos	4
2.2	Hakesampo Oy	4
3	Arinapoltto	5
3.1	Polttoaineen palamisprosessi	6
3.1.1	Polttoaineen kuivuminen	7
3.1.2	Syttyminen ja pyrolyysi	7
3.1.3	Jäännöshiilen palaminen	8
3.2	Arina	8
3.2.1	Ilman syöttö	9
3.2.2	Polttoaineen syöttö	10
3.2.3	Tulipesä	10
3.2.4	Tuhkanpoisto	11
4	Lämpökattilan likaantuminen ja korroosio	13
4.1	Tuhkan muodostuminen	13
4.2	Likaantuminen	14
4.3	Kuonaantuminen	15
4.4	Tuhkan sulamiskäyttäytyminen	15
4.5	Korroosio	15
4.5.1	Rikki korroosion aiheuttajana	16
4.5.2	Kloori korroosion aiheuttajana	18

5	Energiantuotannon puupohjaiset polttoaineet	19
5.1	Puupolttoaineen tärkeimmät laatuominaisuudet	19
5.1.1	Kosteus	20
5.1.2	Irtotiheys	21
5.1.3	Tehollinen lämpöarvo	21
5.1.4	Palakoko	23
5.2	Hake	24
5.2.1	Rankahake	26
5.2.2	Kokopuuhake	27
5.2.3	Metsätähdehake	27
5.3	Murske	28
5.4	Turve	29
6	LAKA-Y 2,5 MW -kaasutuspolttokattilan puhdistus	30
6.1	Polttoainesiilo ja -makasiini	32
6.2	Tulipesä	32
6.3	Kattilan kurkku	33
6.4	Tuhkanpoistoalue	33
6.5	Kuonanpudotusalue	33
6.6	Lämmönsiirtimet	34
6.7	Ilmanesilämmitin	35
6.8	Savukaasunpuhdistimet	35
6.9	Savusola	35
6.10	Tuhkasola	35
6.11	Tuhkakuljetin	36
6.12	Puhaltimet, pumput ja hydrauliiikka	36

7	Tarkistus ja huolto	37
7.1	Polttoainevarasto	37
7.2	Tunkkihuone	37
7.3	Kolakuljetin	37
7.4	Polttoainemakasiini	38
7.5	Tulipesä	38
7.6	Kattilan kurkku	40
7.7	Tuhkanpoistoalue	40
7.8	Kuonanpudotusalue	42
7.9	Lämmönsiirtimet	42
7.10	Ilmanesilämmitin	43
7.11	Savukaasunpuhdistimet	44
7.12	Happianalysaattori	44
7.13	Savusola	46
7.14	Tuhkanpudotus	46
7.15	Tuhkakuljetin	46
7.16	Puhaltimet, pumpput, Cirex ja hydrauliiikka	47
7.17	Sähkökaappi	47
7.18	Rasvaus	48
8	Loppusanat	49
	Lähteet	50
	Liite Revision tarkistuskaavake	

Lyhenteet

$i\text{-m}^3$	Irtokuutiometri, kuvaa puupolttoaineen tilantarvetta ottaen huomioon puukappaleiden väliset tyhjät tilat.
$\text{kg}/i\text{-m}^3$	Irtotiheys, kuvaa puupolttoaineen massaa irtokuutiometriä kohden.
m^3n	Normikuutiometri. Ilman tilavuus normaaliolosuhteissa.
$\text{m}^3\text{n}/\text{m}^2\text{s}$	Tässä yhteydessä arinan läpi virtaavan ilman määrää kuvaava yksikkö arinan pinta-alan ja kuluneen ajan funktiona.
MJ	Megajoule, energiasisällön määrää kuvaava suure.
p%	Painoprosentti, massaosuutta kuvaava suure.
TJ	Terajoule, energiasisällön määrää kuvaava suure. $1 \text{ TJ} = 1000 \text{ MJ}$.

1 Johdanto

Tässä insinööriyössä käsitellään Laatukattilan valmistaman 2,5 MW:n kaasutuspolttokattilan vuosittaisessa huoltoseisokissa suoritettavia puhdistus- ja huoltotoimenpiteitä. Insinööriyön tarkoitus on luoda ohjeistus oikeanlaiselle kattilan puhdistuksen ja huollon suorittamiselle ilman ulkopuolista neuvonantajaa.

Insinööriyö tehtiin Tuusulan Energia Oy:lle. Tuusulan Energia on lähilämmöntuotannon edelläkävijöitä monipuolisella toimintamallillaan, joka kattaa energiantuotannon kaikki vaiheet aina hakkeen tuotannosta lämmön myyntiin. Työssä keskitytään Laatukattila Oy:n toimittamaan LAKA-Y 2,5 MW -kaasutuspolttokattilaan, joka sijaitsee Tuusulan Hyrylässä toimittaen pääasiassa prosessilämpöä Parman betonielementtitehtaalle, sekä kaukolämpöä yrityksen muille asiakkaille alueella.

Insinööriyössä käydään myös yleisesti läpi puun kaasutuspolton periaatteet, erilaisia arinakonstruktioita, likaantumista ja korroosiota aiheuttavat ilmiöt, sekä esitellään käytettävät puupohjaiset biopolttoaineet ja selvitetään niiden polttotekniset ominaisuudet.

Työn painopisteen, LAKA-Y 2,5 MW -kattilan huoltomanuaaliin on koottu vuosien 2012 ja 2013 vuosihuolloissa sekä työssäoloaikana opittu käytännön kokemus selkeiksi ohjeiksi, joita käytetään hyödyksi tulevilla revisioilla. Manuaalissa käydään läpi lämpökattilan kaikki eri alueet ja komponentit, kuten polttoaineenkuljetin, arina, lämmönsiirtimet, tuhkankestimet ja savukaasunpuhdistimet.

2 Yritykset

2.1 Tuusulan Energia Oy

Tuusulan Energia Oy on vuonna 2003 perustettu lämpöyritys, joka tuottaa kotimaisilla biopolttoaineilla lähilämpöä Tuusulan Hyrylän teollisuusalueella sekä Hyrylän Ristikiven yritysalueella. Yhtiöllä on Palkkitien laitosta vastapäätä Tuusulan kunnalta vuokrattu risutermiinalina toimiva maa-alue (kuva 1), johon alueen asukkaat voivat maksutta tuoda jätepuunsa. Myös useat alueella toimivat metsuriyritykset tuovat hakkuiden ylijäämäpuut risutermiinaliin. Siellä runkopuut erotellaan muusta materiaalista. Laadukkaat runkopuut haketetaan ja muu puuaines murskataan omalla murskaimella. [1]



Kuva 1. Risutermiinali. Kuvassa näkyy myös yrityksen Hyundai-merkkinen pyöräkuormaaja, sekä murskattua materiaalia vasemmalla näkyvässä kasassa.

2.1.1 Palkkitien prosessi- ja kaukolämpölaitos

Palkkitien 2,5 MW:n hakeämpölaitos (kuva 2) sai alkunsa Parma Oy:n halusta pienentää hiilijalanjälkeään yritystasolla. Parma Oy:n Hyrylän ontelolaattatehdas korvaa noin 600 t raskasta polttoöljyä vuodessa hakeämmöllä. Varajärjestelmänä toimii vanha 2,9 MW:n kevytöljykattila, jotka muutettiin raskaasta polttoöljystä kevyellä toimiviksi.



Kuva 2. Tuusulan Energia Oy:n hakeämpölaitos Hyrylässä [1]

Palkkitien polttoainevaraston tilavuus on noin 3 000 m³, mikä vastaa 5 - 6 viikon lämmitystarvetta talvella. Hakevarasto on tehty Parman ontelolaatoista, ja varaston takanurkassa on 85 m² tasku, jossa on päälleajon kestävä tankopurkainpohja, johon polttoainetta annostellaan joko kaivinkoneella, tai pyöräkuormaajalla. Hakekattila, sen syöttölaitteet ja näiden automatisointi ovat Laatukattila Oy:n tuotantoa. Yritys valitsi kaasutuspolttokattilan hyvin monipuolisen polttoainejakauman vuoksi. Kaukolämpöverkkoon on liittynyt perustamisen jälkeen uusia asiakkaita, ja verkon laajentaminen on edelleen käynnissä. [2, s. 57]

2.1.2 Ristikiven yritysalueen kaukolämpölaitos

Tuusulan Energia Oy on laajentanut liiketoimintaansa rakentamalla kaksi pienempää lämpökeskusta Hyrylän Ristikivessä sijaitsevalle yritysalueelle. Kesäaikaan alueen yrityshalleja lämmittää Säättötili Oy:n 250 kW:n hakelämpökattila, ja talvisin Ala-Talkkarin 500 kW:n stokerilämpökattila. Kasvavalla yritysalueella uusia lämpöasiakkaita liittyy alueen verkkoon tasaista tahtia.

2.2 Hakesampo Oy

Hakesampo Oy on vuonna 2006 perustettu haketusurakointiyritys. Se toimii pääasiallisena haketusurakoitsijana Tuusulan Energia Oy:lle. Yritys valmistaa haketta risu- ja puukasoista ja toimittaa sen Etelä-Suomen lämpölaitoksille. Hakesampo Oy tekee tilauksesta myös esimerkiksi maatilahaketuksia.

Hakkurina toimii Sisu-kuorma-auton alustalle rakennettu Heinolan Sahakoneet Oy:n 1310RML-mobiilihakkuri (kuva 3). Risutermiinalin epäpuhdas tai risuista koostuva puuaines murskataan Morbarkin Tub Grinder – murskaimella. Hakkeen ja murskeen kuljetus hoidetaan purkavilla tai kippaavilla kuorma-autoilla.



Kuva 3. Hakesammon mobiilihakkuri [3]

3 Arinapoltto

Arinapoltto on ihmiskunnan teollistumisen alusta lähtien ollut pienten ja keskikokoisten yksiköiden yleisin polttomenetelmä. Arinakattilat on mahdollista jakaa käyttötarkoituksensa mukaan seuraaviin ohjeellisiin kokoluokkiin:

- | | |
|-------------------------------|--------------------|
| • omakotikattilat | 15 – 40 kW |
| • kiinteistökattilat | 40 – 400 kW |
| • alue- ja kaukolämpökattilat | 400 – 20 000 kW |
| • teollisuuskattilat | 1000 – 80 000 kW |
| • biomassalauhdelaite | 30 000 – 70 000 kW |
| • yhdyskuntajättekattilat | 10 000 – 30 000 kW |

Vaikkakin jaottelu on vain ohjeellinen, se antaa silti hyvän kuvan arinapolttokattiloiden soveltuvuusalueesta.

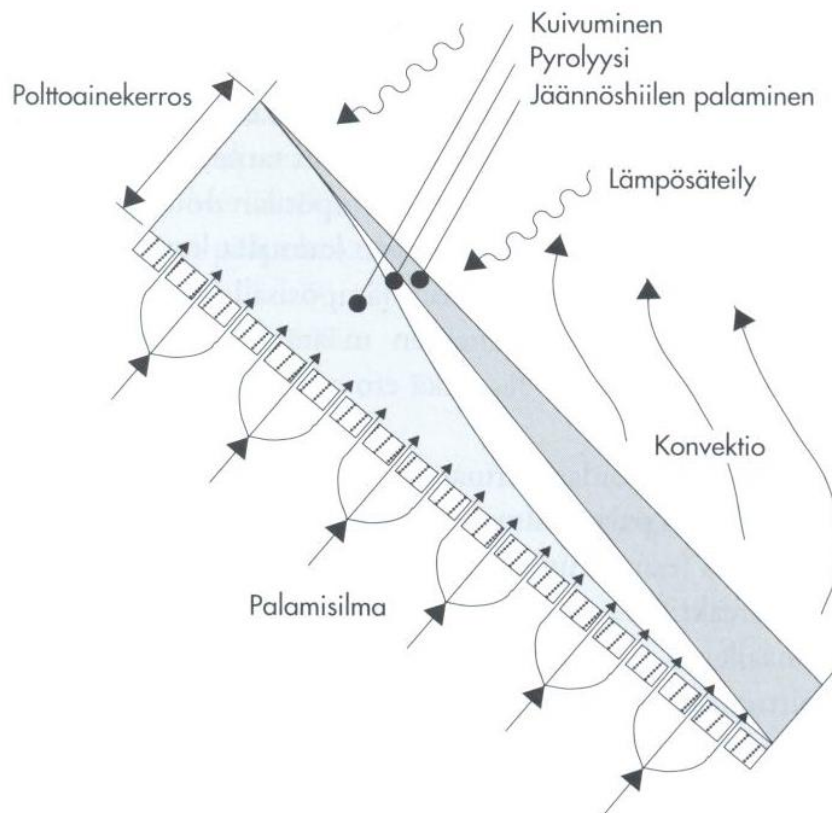
Uudet innovaatiot polttotekniikassa ovat vähitellen syrjäyttäneet arinapolton yli 5 MW:n kokoluokan laiteyksiköissä. Erityisesti leijupoltto on yleistynyt 1980-luvulta lähtien. Alle 5 MW:n kokoonpanoissa arinapoltto on kuitenkin edelleen yleisin polttomenetelmä kiinteille polttoaineille. Kuitenkin viimeaikaiset ympäristöpäätökset ja suositukset ovat lisänneet biomassan haluttavuutta käytettävänä polttoaineena ja johtanevat arinapolton lisääntymiseen erityisesti Keski- ja Etelä-Euroopan pienissä lauhdevoimalaitoksissa.

Kiinteiden polttoaineiden ollessa ominaisuuksiltaan hyvin erilaisia, ovat arinakonstruktiot myös hyvin toisistaan poikkeavia. Pitkän kehityslinjan tuloksena on lukematon määrä eri koko- ja tarkoituksiluokkien kattiloita ja niiden valmistajia, joilla on omat ratkaisunsa eri polttoaineille ja paikallisille tarpeille. [4, s. 466]

3.1 Polttoaineen palamisprosessi

Kiinteät polttoaineet palavat arinalla samojen pääsääntöjen ja -vaiheiden mukaan (kuva 4), kuin muillakin polttomenetelmillä. Nämä vaiheet ovat

- polttoaineen kuivuminen
- pyrolyysi ja haihtuvien aineiden palaminen
- jäännöshiilen palaminen.



Kuva 4. Polttoaineen palamisvaiheet arinalla [4, s. 467]

Yksittäisestä polttoainekappaleesta puhuttaessa, kaikki palamisen vaiheet tapahtuvat pääosin peräkkäin. Arinalla on kuitenkin luonnollisesti kaikissa palamisvaiheissa olevia kappaleita samanaikaisesti. Isommissa kappaleissa voi lisäksi olla sisällä vielä tuoretta polttoainetta, vaikka pintakerroksessa on jo jäännöshiilen palaminen käynnissä. [4, s. 467]

3.1.1 Polttoaineen kuivuminen

Biopolttoaineita polttavien kattiloiden arinoiden mitoituksessa yksi merkittävimmistä tekijöistä on käytettävän polttoaineen kosteuspitoisuus. Biopolttoaineiden kosteuden ollessa useimmiten 30 - 60 % tasolla, on iso osa arinapinta-alasta varattava polttoaineen kuivumiseen. Parhaimman palamistuloksen kannalta on edullista, että polttoaine kuivuu mahdollisimman lyhyessä ajassa. Pidempi kuivumisaika laskee tulipesän keskimääräistä lämpötilaa joissain tapauksissa hyvinkin jyrkästi. Polttoaineen palakoolla voidaan vaikuttaa kuivumisen nopeuteen; pienempi palakoko kasvattaa haihtumispintaa. Myös palamisilman esilämmittäminen nopeuttaa kosteuden poistumista. Arinaa suunniteltaessa oikeanlainen tulipesägeometria tietynlaiselle polttoaineelle varmistaa lyhemmän kuivumisaian. [4, s. 467]

3.1.2 Syttyminen ja pyrolyysi

Kiinteä polttoaine voi syttyä joko homo- tai heterogeenisesti. Heterogeenisessä palamisessa polttoainekappale on ensin syttynyt pinnaltaan, mutta pyrolyysireaktion voimistumisen vuoksi liekki irtoaa kappaleen pinnasta. Homogeenisessä syttymisessä kappaleesta vapautuneet kaasut syttyvät kappaleen ulkopuolella. Suurempi hiukkaskoko kasvattaa homogeenisen syttymisen todennäköisyyttä. Syttymisen perusedellytyksenä lämmön ja polttoaineen lisäksi on kaasuja tai hiukkasta ympäröivä happi.

Pyrolyysissä, eli kuivatislauksessa, orgaaninen aines hajoaa inerttien kaasujen lisäksi palamiskelpoisiksi kaasuiksi ja nestefaasissa oleviksi terva-aineiksi. Inerttejä kaasuja luokun ottamatta pyrolyysin aikaansaamat tuotteet palavat hyvin liekissä, jos happea on tarpeeksi. Pyrolyysi on aluksi endoterminen eli lämpöä sitova reaktio, jolloin kiinteästä polttoaineesta irtoavat haihtuvat ainekset. Pyrolyysireaktio muuttuu eksotermiseksi eli lämpöä vapauttavaksi, kun lämpötila on noussut tarpeeksi korkealle ja happea on läsnä. Tällöin palavat aineet reagoivat hapen kanssa palaen näkyvänä liekkiä. Palamisen kokonaisprosessin kannalta polttoaineen haihtuvien aineiden pitoisuus kuiva-aineessa kuvaa parhaiten pyrolyysivaiheen merkitystä. Biopolttoaineilla haihtuvien aineiden määrä on noin 70 %. [4, s.192 - 193]

Parhaaseen palamistulokseen päästään, kun palamisilma sekoitetaan kaasuihin tehokkaasti ja tulipesäkonstruktio on valittu ja suunniteltu polttoaineelle sopivaksi. Esimerkiksi kuumilla säteilypinnoilla pyritään vaikuttamaan kaasujen syttymiseen, sekä riittävän lämpötilan aikaansaamiseen ja sen ylläpitoon. Polttoaineen palaessa diffuusioliekillä, eli kaasumaisten polttoaineiden edettyä liekkirintamalle ja sekoituessa toiselta puolelta puhallettavaan palamisilmaan, on rintamalle tuodun palamisilman sekoittuminen erittäin tärkeää. Hyvällä sekoittumisella varmistetaan paras lopputulos. [4, s. 468]

3.1.3 Jäännöshiilen palaminen

Kun kaikki haihtuvat aineet ovat polttoaineesta hävinneet, jää jäljelle enää kiinteää hiiltä. Tämä hiili palaa pinnaltaan ilman liekkiä, olettaen, että lämpötila ja happipitoisuus ovat riittävät. Jäännöshiilen palaminen on hidas prosessi ja vaatii pyrolyysivaiheeseen verrattuna suhteessa enemmän arinapintaa. Polttoaineen pienempi palakoko nopeuttaa palamisaikaa. Lämpötilan nostaminen reaktioajan nopeuttamiseksi saattaa aiheuttaa tuhkan sulamista. Tämä on rajoittavana tekijänä erityisesti turpeen arinapoltossa. Mikäli jäännöshiilen palamisvaihe on mitoitettu liian lyhyeksi, poistuu osa polttoaineesta palamattomana tulipesätuhkan mukana, laskien palamisen hyötysuhdetta. [4, s. 468]

3.2 Arina

Erilaisten arinoiden rakenteet ovat polttoaineen tyypistä ja kattilan koosta riippuvaisia. Rakenteet voivat olla myös päätyyppien erilaisia yhdistelmiä. Päätyypit ovat

- kiinteä viistoarina
- kiinteä tasoarina
- mekaaninen viistoarina
- ketjuarina
- erikoisarinat, kuten jätteenpolttoarinat.

Arinarakenteen lisäksi arinoita erottava tekijä on arinan jäähdytysmekanismi. Yleisimmin pienet arinat ovat ilmajäähdytteisiä, jolloin arinan alta puhallettava primääri-ilma toimii jäähdyttäjänä. Suuremmissa konstruktioissa pelkkä ilmajäähdytys ei usein ole riittävä. Tällöin arinat ovat vesijäähdytteisiä eli arinat on integroitu kattilan vesikiertoon.

Mekaanisissa arinoissa osa tai kaikki arinaraudat on kytketty hydraulisesti liikkuviin sylintereihin, jotka liikuttavat arinaa edestakaisin tyypillisesti noin 100 mm:n liikealueella. Liikkeen tavoitteena on sekoittaa polttoainetta ja siirtää sitä hallitusti palamisen vaiheesta toiseen. Mekaanisella viistoarinalla arinakulma voi olla huomattavasti loivempi kuin kiinteällä viistoarinalla, joka luottaa painovoimaiseen polttoaineen laskeutumiseen. Kiinteiden viistoarinoiden tyypillinen kulma on 35 - 38°. Kaltevuus riippuu käytettävästä polttoaineesta. Arinarautojen materiaali on useimmiten haponkestävää terästä eli valurautaa, johon on seostettu kromia lämmön- ja korroosiokestävyyden parantamiseksi.

Arinoita mitoittaessa on tärkeää, että arinan ilmanvastus on polttoainekerroksen ilmanvastusta suurempi. Arinan korkea ilmanvastus mahdollistaa ilman tasaisen jakautumisen polttoainekerrokselle, kerroksen epätasaisuudesta huolimatta. Tällöin ilmanvirtausteiden osuus arinan kokonaispinta-alasta on vain muutamia prosentteja. Luonnonvetokattiloilla mitoituksen tulee olla huomattavasti väljempi kuin puhallinavusteisilla kattiloilla. [4, s. 472 - 473]

3.2.1 Ilman syöttö

Useimmiten palamisilma syötetään arinakattilaan kahdessa vaiheessa, kuitenkin joissain tapauksissa käytetään myös kolmatta vaihetta. Primääri-ilma syötetään arinan alta polttoainekerroksen läpi. Sekundääri- ja tertiääri-ilmaa syötetään kattilan kurkkuun ja kaasutuspolttokammioon, jotta polttoainekerroksesta haihtuneet palamiskelpoiset kaasut saadaan poltettua. Tyypillisesti sekundääri- ja tertiääri-ilman määrää säädetään savukaasujen happipitoisuuden mukaan.

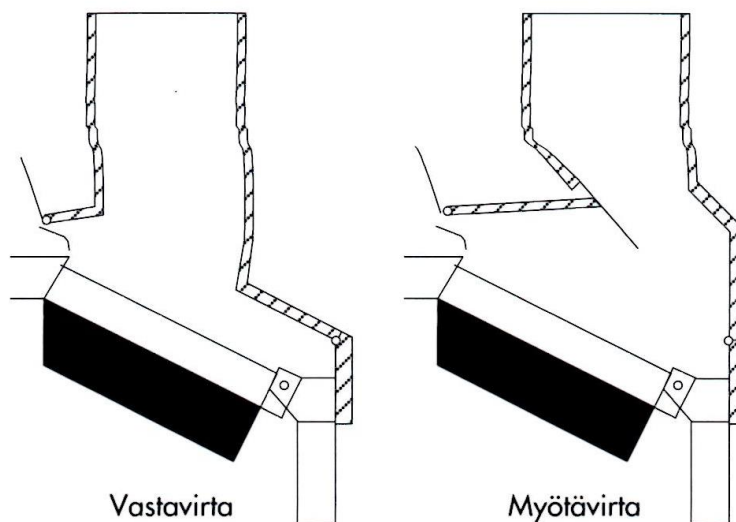
Isommilla arinakattiloilla on edullista kyetä säätämään primääri-ilman määrää erikseen polttoaineen kuivaus-, pyrolyysi- ja loppuunpalamisvaiheille. Esilämmittämällä palamisilmoja kattilan hyötysuhde paranee pienempien savukaasuhäviöiden ja nopeamman palamisreaktion seurauksena. Sekundääri-ilmalle on tärkeää sekoittua oikeanaikaisesti ja tehokkaasti palamiskaasuihin. Vääränlainen järjestelmä viilentää palamiskaasuja ja nostaa happipitoisuutta, heikentäen huomattavasti hyötysuhdetta. Toisioilman riittävä nopeus ja oikeanlaiset suuttimet varmistavat tehokkaan sekoittumisen. [4, s. 474]

3.2.2 Polttoaineen syöttö

Polttoaineen syöttöjärjestelmän tärkein tehtävä on jakaa syötetty polttoaine mahdollisimman tasaisesti koko arinan leveydelle. Polttoainetta voidaan tasoittaa yläsyöttöisissä kattiloissa esimerkiksi polttoainemakasiinissa edestakaisin pyörivällä sekoitusruuvilla, mikäli painovoimainen levittyminen ei ole riittävä. Polttoaineen tasainen levittyminen leveyssuunnassa on erityisen tärkeää arinakattiloilla primääri-ilman hallitsemista varten. Huonosti levittyneeseen polttoainekerrokseen muodostuu helposti alhaisen ilmanvastuksen alueita, joista palamisilma karkaa arinan läpi ehtimättä reagoida polttoaineen kanssa. Alasyöttökattilassa polttoaine syötetään ruuvin avulla arinan keskellä olevaan kaukaloon, josta polttoaine leviää tasaisesti eri puolille arinaa. Syöttöjärjestelmää suunniteltaessa on kiinnitettävä erityistä huomio siihen, että syöttöaukosta ei vuoda hallitsemattomasti ylimääräistä ilmaa tulipesään, eikä toisaalta erikoistilanteissa tulipesästä pääse takatulta polttoaineen käsittelyjärjestelmään. [4, s. 471]

3.2.3 Tulipesä

Arinakattiloille tulipesän geometrian päävaihtoehdot ovat vastavirta- tai myötävirtaperiaate (kuva 5). Käytettävä polttoaine määrää tulipesän muodon. Yleisperiaatteena tulipesägeometrian valinnassa pyritään mahdollisimman tasaiseen ja korkeaan lämpötilaan, sekä minimoimaan paikalliset kylmät alueet.



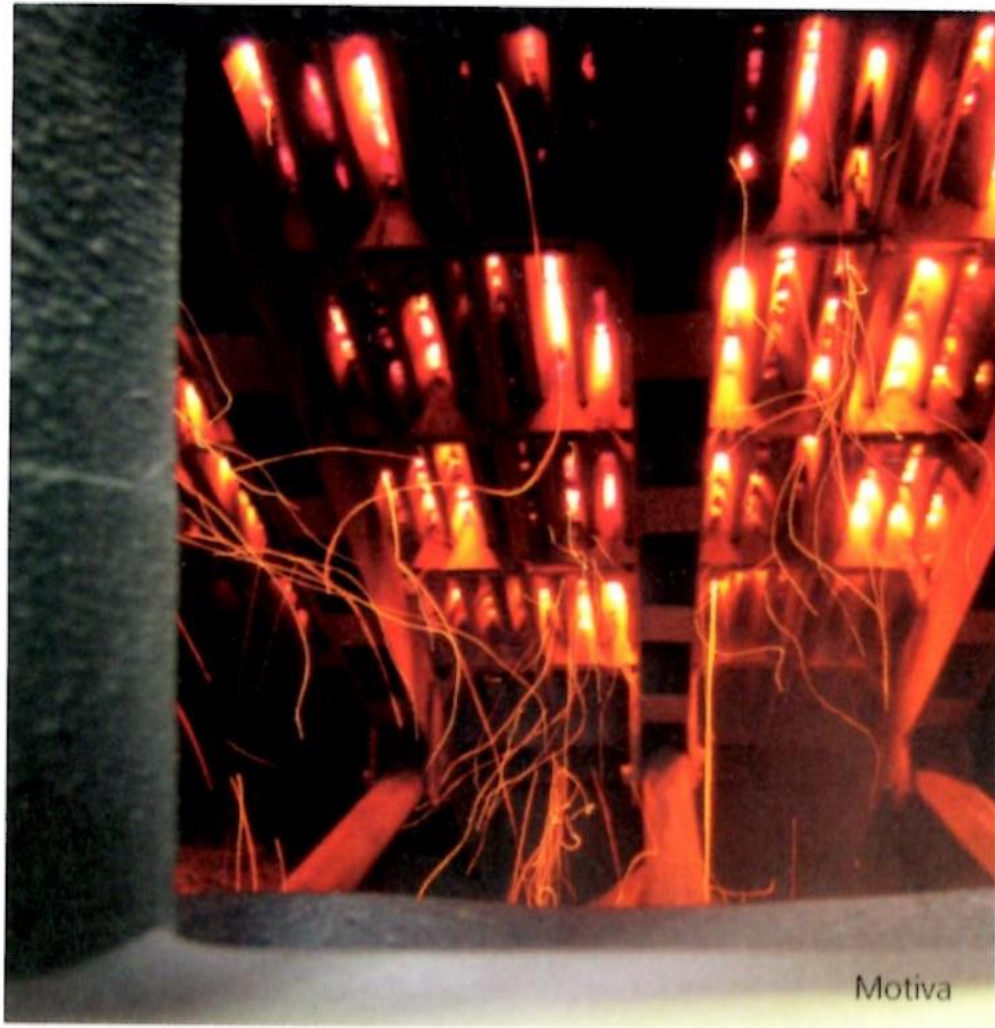
Kuva 5. Tulipesägeometrian päävaihtoehdot [4, s. 475]

Vastavirtakattiloissa johdetaan kuumia savukaasuja arinan alkuosaan nopeuttamaan polttoaineen kuivumista ja syttymistä. Periaatetta sovelletaan usein biopolttoaineille, jotka syttyvät huonosti joko korkean kosteuspitoisuuden tai matalan haihtuvien aineiden määrän johdosta. Vastaavasti myötävirtakattiloissa haihtuneet palamiskaasut johdetaan liekkialueen läpi, jolloin ne viipyvät kauemmin palamiselle edullisissa olosuhteissa. Tällöin loppuunpalaminen oletettavasti tehostuu. Myötävirtaperiaate soveltuu nopeasti syttyville ja pyrolysoituville polttoaineille.

Kosteiden polttoaineiden polttamiseen suunniteltujen kattiloiden tulipesän seinärakenteiden tulisi olla jäähdyttämätön niiltä osin, jotka ylläpitävät kuivaus- ja pyrolyysivaiheille otollista lämpötilatasoa. Jäähdyttämätön pinta tehdään joko muurauksilla tai massauksilla. Toisaalta tulipesän seinät polttoainekerroksen kohdilta olisi suotavaa olla jäähdytetty. Jäähdytetyt sivuseinät auttavat välttämään yleisen ongelman, jossa polttoaine palaa nopeasti arinan reunoilta. Tällöin syntyvät aukot polttoainekerroksessa aiheuttavat primääri-ilman karkailua kerroksen läpi. [4, s. 474–475]

3.2.4 Tuhkanpoisto

Polttoaineen sisältämä tuhka poistuu useimmiten arinoiden rakojen läpi arinoiden alla sijaitsevaan tuhkaneräykseen. Isommissa konstruktioissa osa tuhkasta poistuu myös osittain sulaneena arinan loppuosasta sammutuskaukaloon erillisen tuhka-arinan avustamana. Arinan läpi putoava tuhka sisältää usein vielä palamiskelpoista materiaalia. Tätä kutsutaan hehkutushäviöksi (kuva 6).



Kuva 6. Pitkällä valotusajalla otettu kuva arinan läpi putoavasta, vielä hehkuvasta tuhkasta [2, s. 28]

Palamiskaasujen mukana lentoon lähtevät tuhka- ja polttoainehiukkasten määrä on riippuvainen hiukkasten koosta ja savukaasuvirtauksesta arinapintaan verrattuna (kuva 7). Pienempi virtaus nostattaa ilmaan vähemmän pienhiukkasia, mutta voi vastaavasti heikentää palamisen hyötysuhdetta palamattoman polttoaineen määrän kasvaessa. Lentotuhkan määrää savukaasuissa voidaan laskea ohjaamalla savukaasut esimerkiksi erilaisten pölynerottimien ja savukaasusyklonien läpi, jotka käyttävät keskipakoisvoimaa hyväkseen irrottaakseen kaasumolekyylejä painavammat tuhka- ja hiukkaset savukaasuvirrasta. Isommat voimalaitokset käyttävät myös sähkösuodattimia. [4, s. 475]

4 Lämpökattilan likaantuminen ja korroosio

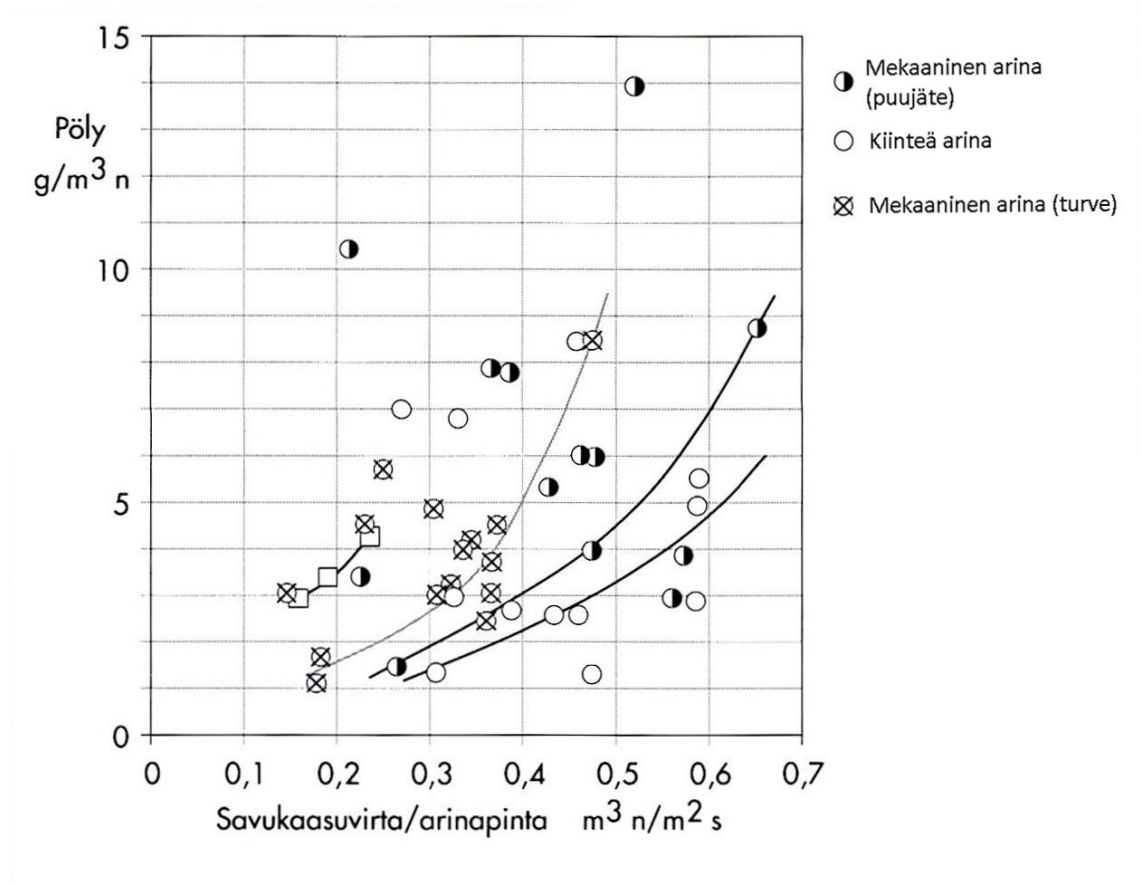
Tuhka muodostuu polttoaineen palamattomasta epäorgaanisesta aineksesta polttoprosessin aikana. Tuhkan aiheuttamat ongelmat ovat isoin yksittäinen syy kattiloiden ylimääräisille alasajoille. Tuhkan aiheuttamia ongelmia tarkasteltaessa on otettava huomioon koko tuhkan muodostumisketju. Muodostumisketju kattaa tuhkan vaiheet polttoaineen syötöstä, tuhkaa muodostavien ainesosien vapautumisesta ja muodostumisesta aina lentotuhkan erottamiseen savukaasuista. [4, s. 269]

4.1 Tuhkan muodostuminen

Tuhkaa muodostavat ainesosat vaihtelevat eri polttoainetyyppien mukaan. Jotkut hiilet saattavat sisältää toistakymmentä prosenttia tuhkaa, öljyliuskeet jopa lähes puolet, kun taas puiden rungot vain prosentin kymmenysosia. Puiden kuorien pitoisuudet ovat korkeammat kuin rungoilla, noin 1,5–3,5 %.

Puun tuhka sisältää alkali- ja maa-alkalimetalleja, pääasiassa kalsiumia, magnesiumia ja kaliumia, sekä pienempiä määriä fosforia, natriumia, piitä ja rikkiä. Piitä on lähinnä puun kuoressa hiekan tai saven muodossa. Tämä johtuu usein kuoren likaantumisesta kuljetuksen tai käsittelyn yhteydessä. Puussa on myös mineraaleja ja raskasmetalleja puun ravinteisiin sitoutuneena. Lehdistä ja havuissa on usein suurin osa puun sisältämästä kloorista. Tästä syystä on suositeltavaa polttaa joko kuivaa biomassaa tai semmoista, josta lehti- ja havuaines on irronnut. Tällöin klooripitoisuus laskee murto-osaan paljon viherainetta sisältävään polttoaineeseen verrattuna.

Käytettävä polttoaine ja polttotekniikka vaikuttavat suuresti tuhkaa muodostavien ainesosien vapautumiseen. Suurin osa tuhkan ainesosista pysyy palavassa kappaleessa ja muodostaa jäännöshiilen palamisen jälkeen yhden tai useamman tuhka hiukkasen, joka poistuu usein pohjatuhkan mukana kattilasta. Osa tuhkasta kuitenkin vapautuu hiukkasesta kesken polttoprosessin ja vapautuu savukaasuihin (kuva 7). Kesken polttoprosessin vapautuvat hiukkaset ovat kooltaan useimmiten alle 1 µm. Biomassoissa esiintyvien alkali-, maa-alkalijyhdisteiden, kloorin ja rikin on todettu voivan vapautua tällä tavalla. Tuhkan aineosat voivat myös höyrystyä palavasta kappaleesta palamisprosessin aikana. Korkean höyrynpaineen yhdisteet, kuten alkalikloridit, ovat myös alle 1 µm:n kokoisia. Höyryt ja niissä muodostuneet hiukkaset ovat hyvin reaktiivisia. [4, s. 273–274]



Kuva 7. Lentoon lähtevien tuhkahiukkasten määrä eri arinarakenteilla [4, s. 476]

4.2 Likaantuminen

Likaantumisella tarkoitetaan kattilan lämmönsiirtoalueille muodostunutta tuhkakerrostumaa, joka on suurimmilta osin kiinteässä muodossa. Kerrostuman muodostumiseen tarvitaan kaksi edellytystä; tuhka hiukkasen on saavutettava lämmönsiirtopinta ja hiukkasen on tartuttava pinnalle.

Suuret, yli 5 μm :n, kokoiset hiukkaset kulkeutuvat lämmönsiirtopinnalle pääosin iskeyty-mällä. Tällöin hiukkaset kerääntyvät usein harjannemaiseksi kerrostumaksi pinnan tulo-puolelle. Alle 1 μm :n hiukkaset useimmiten seuraavat savukaasuvirtausta, mutta voivat saavuttaa lämmönsiirtopinnan diffuusiomekanismeilla. Täten muodostuvat kerrostumat ovat tasaisia koko lämmönsiirtopinnalla, riippumatta savukaasuvirtauksen tulosuun-nasta. Höyrystymällä vapautuneet kaasumaiset tuhkan ainesosat voivat myös joskus kondensoitua viileämmille pinnoille. [4, s. 276]

4.3 Kuonaantuminen

Arinakattiloiden kuonaantumisongelmat liittyvät tuhkan osittaiseen sulamiseen arinalle, tulipesän seinämille sekä kuumimpien lämmönvaihtimien pinnoille. Arinapinnoille sulassa kuonaantuminen aiheuttaa joskus isojaakin kuonalauttoja, jotka haittaavat palamista estäen primääri-ilman pääsyn kuonalautan yläpuolella olevaan polttoainekerrokseen. Puun sisältämät alkali- ja maa-alkalimetallit reagoivat rikin kanssa sulfaattiseoksiksi, joiden ensisulamispiste on noin 650 °C. Jos polttoaineen mukana tulee piitä sisältävää maa-ainesta, pii reagoi natriumin ja kaliumin kanssa muodostaen huomattavia kuonaantumisongelmia. Puun sisältämä kloori pahentaa tilannetta entisestään muodostamalla natriumin ja kaliumin kanssa sulfaatti- ja kloridiseoksia, joiden ensisulamispiste on jopa 515 °C. Monien kattiloiden ensimmäisten tulistimien pintalämpötila usein ylittää tämän lämpötilan, jolloin seurauksena voi olla vakavia korroosiovaurioita. Osittain sulanut alkalisulfaattien ja kloridien seos on erittäin syövyttävää. [4, s. 285–286, s. 291]

4.4 Tuhkan sulamiskäyttäytyminen

Puun tuhkan lähes täydellinen sulaminen tapahtuu vasta yli 1 400 °C:n lämpötiloissa. Tämän takia sulasta tuhkasta aiheutuvia ongelmia on arinapoltossa vain harvoin. Sulassaan puun tuhkalla on kuitenkin erittäin syövyttävä vaikutus tulipesän muurauksiin. Turpeen tuhka voi sulaa jo 1 050 - 1 150 °C:n alueella, mikä tulee huomioida poltettaessa isoja määriä turvetta. Varsinkin kuivan palaturpeen arinapoltossa on havaittu ongelmia sulan tuhkan kanssa. Kyseisiä ongelmia voidaan vähentää valitsemalla esimerkiksi mekaanisesti jäähdytetty arinakonstruktio tai käyttämällä esilämmittämätöntä palamisilmaa. [4, s. 471]

4.5 Korroosio

Metalliseosten korroosiosuoja perustuu usein metallin pinnalle muodostuneeseen suojaavaan kerrokseen. Rautaan seostettu lisäaine, kuten kromi, molybdeeni, pii tai alumiini, reagoi pinnalla hapen kanssa muodostaen tiiviin metallioksidikerroksen. Tämä oksidikerros ei estä metallin syöpymistä, vaan ainoastaan hidastaa sen etenemistä. Käytettyjen seosaineiden ominaisuudet ja metallin käyttöympäristö ratkaisevat syöpymisnopeuden. Esimerkiksi tulipesässä ja savukaasukanavassa ilmennyt korroosio johtuu useimmiten

savukaasujen viilentymisestä happokastepisteen alapuolelle, tai pinnalle muodostuneista tuhkakerroksista. Tuhkakerrostuman alle saattaa muodostua paikallinen, korroosiolle otollinen ympäristö.

Kattilassa paikallisesti ilmenevät pelkistävät olosuhteet saattavat vaurioittaa metallioksidikerrosta. Pelkistävien olosuhteiden yhteydessä mahdollisesti ilmenevät rikki- tai klooriyhdisteet ovat erityisen haitallisia. Pelkistävissä olosuhteissa heikentyneen metallin korroosiosuojan seurauksena rikki ja kloori pääsevät reagoimaan metallin kanssa muodostaen sulfideja ja klorideja. Nämä reaktiotuotteet eivät anna minkäänlaista korroosiosuojaa. Tulipesässä ja kuumimmilla lämmönsiirtopinnoilla kuonan alla mahdollisesti sulana oleva tuhkakeros aiheuttaa korroosiota erityisen nopeasti. Isoimpia ongelmia aiheuttavat alkalisulfaatti-kloridi-seokset, joiden alin sulamispiste voi olla tulistimien pintalämpötilojen tasolla. Ongelmia ilmenee lähinnä sähköä tuottavissa höyrykattiloissa, joissa lämmönsiirtopintojen sisäpuolella kiertävä vesihöyry voi olla jopa 500 °C. Pelkkää prosessi- tai kaukolämpöä tuottavien, pienemmän tehon kattiloiden vesi harvoin nousee yli 130 - 140 °C:n. Tällöin vesi jäädyttää lämmönsiirtopintaa vähentäen tuhkan sulamismahdollisuutta ulkopinnalle. [4, s. 284–285]

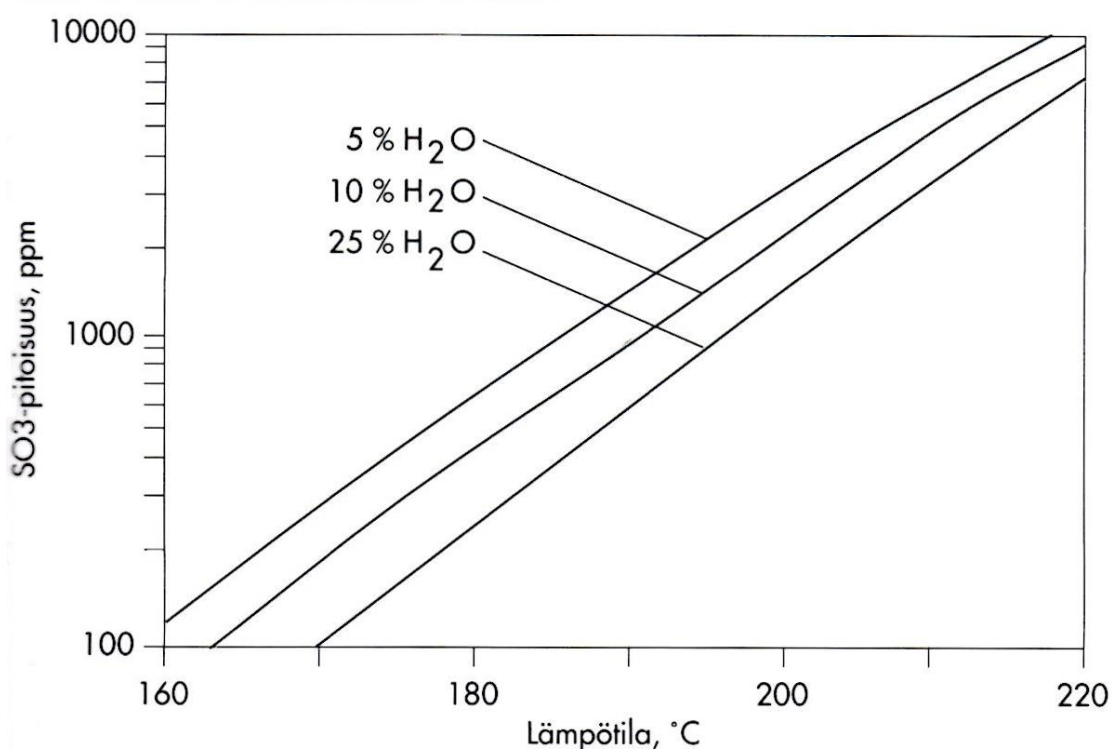
4.5.1 Rikki korroosion aiheuttajana

Biopolttoaineissa esiintyy rikkiä orgaanisessa muodossa kasvien ravintoaineisiin sidottuna. Pienen määrän sitoutuessa tuhkan alkali- ja maa-alkalimetalleihin, suurin osa rikistä vapautuu poltossa polttotilaan. Vapautunut rikki hapettuu muodostaen rikkidioksidia (SO_2) ja rikkitrioksidia (SO_3). Puun rikkipitoisuuden ollessa tyypillisesti alle 0,05 p%, ovat palotapahtuman rikkidioksidipäästöt alle 130 mg/MJ. Turpeen rikkipitoisuus voi olla jopa kymmenkertainen puuhun verrattuna. Turvetta poltettaessa rikkidioksidia vapautuu 50–500 mg/MJ. Osa muodostuneesta rikkidioksidista hapettuu edelleen rikkitrioksidiksi. Yleensä vain muutama prosentti polttoaineen sisältämästä rikistä hapettuu aina rikkitrioksidiksi asti. Rikkitrioksidilla on rikkidioksidia enemmän merkitystä kattilan käytön kannalta, koska rikkitrioksidi aiheuttaa korroosiota matalissa lämpötiloissa.

Rikkitrioksidia muodostuu pääasiassa termisesti korkeissa, yli 1 100 °C:n lämpötiloissa ja katalyyttisesti matalissa, noin 500 - 800 °C:n, lämpötiloissa. Korkeissa lämpötiloissa rikkidioksidi reagoi vapaiden happiatomien kanssa muodostaen rikkitrioksidia. Matalissa lämpötiloissa katalyyttisesti rikkidioksidia muodostuu tulistinvyöhykkeellä, missä tulistinputkille muodostuneet kerrostumat toimivat katalyyttinä. Erityisesti divanadiinipentoksidi

(V_2O_5) ja magnetiitti (Fe_3O_4) ovat tehokkaita rikkidioksidin hapettajia. Suurin osa rikki-trioksidista muodostuu yleensä termisesti. Katalyyttisten reaktioiden aikaansaama muodostuminen on kuitenkin merkittävä, mikäli tulistimien kerrostumat ovat erityisen otolliset katalyyttisille reaktioille. Muodostuvan rikki-trioksidin määrän on todettu olevan erityisen riippuvainen happipitoisuudesta. Alhaisempi happipitoisuus vähentää muodostuneen rikki-trioksidin määrää. Erityisesti alhaisilla (0 - 1 %) happipitoisuuksilla lasku on hyvin merkittävä, kun vapaita happiradikaaleja ei riitä rikki-trioksidin muodostumiseen.

Savukaasujen lämpötilojen laskiessa rikki-trioksidi yhdistyy savukaasuissa esiintyvän vesihöyryn kanssa muodostaen kaasumaista rikkihappoa (H_2SO_4). Rikkihappo voi tiivistyä vesi-riikkihapposeokseksi savukaasukanavassa metallipinnoille, joiden pintalämpötila alittaa happokastepisteen. Happokastepiste on riippuvainen savukaasujen veden ja rikki-trioksidipitoisuuden osapaineista (kuva 8). Tämä on vain yksi useista esitetyistä riippuvuuksista happokastepisteen ja rikki-trioksidipitoisuuden välillä.



Kuva 8. Happokastepisteen riippuvuus savukaasujen rikki-trioksidipitoisuudesta [4, s. 349.]

Happokastepisteen ja rikki-trioksidipitoisuuden välillä on logaritminen yhteys. Rikki-trioksidipitoisuuden laskiessa kymmenesosaan aiemmasta, laskee happokastepiste vain

noin 18 °C. Logaritmisuuden vuoksi savukaasujen rikkiatrioksidipitoisuuden alentamisella ei ole paljoa vaikutusta kastepisteeseen. Tällöin paras keino välttää kastepisteeltä on varmistaa, ettei savukaasukanavassa ole kastepisteen lämpötilaa alittavia pintoja. Käytännössä tämä ei kuitenkaan onnistu uusilta, korkean hyötysuhteen kattiloilta. Nykyiset kattilat luottavat haponkestävään teräkseen suojautuessaan rikkihapolta. [4, s. 343–348]

4.5.2 Kloori korroosion aiheuttajana

Halogeenit voivat reagoida vedyn kanssa muodostaen vetyhalogeeneja. Kloori on halogeeneista ainoa elementti, jonka pitoisuudet polttoaineissa ovat tarpeeksi suuret vaikuttaakseen polttoprosessiin sen muodostaessa vetykloridia (HCl). Biopolttoaineet eivät yleensä sisällä paljoa klooria. Määrä vaihtelee useimmissa tapauksissa välillä 0 - 0,5 p%, mutta saattaa olla korkeampikin poltettaessa havunneulasia ja vihreitä lehtiä sisältävää polttoainetta. Klorofylli, eli lehtivihreä, itsessään molekyylinä ei sisällä klooria, mutta kloori on kasvin vihreissä osissa läsnä yhteyttämisen avustajana. Muovipitoisen jätteen poltossa kloorin määrä voi nousta erittäin korkeaksi, koska polyvinyylikloridi (PVC-muovi) sisältää yli 50 p% klooria.

Polttotapahtumassa polttoaineen kloori vapautuu savukaasuihin vety- tai alkalikloridina. Esiintyessään alkalikloridina kloori voi tiivistyä lämmönsiirtopinnoilla. Tällöin se aiheuttaa vakavia korroosioaurioita liian korkeissa lämpötiloissa. Ongelma koskee lähinnä korkealämpöistä höyryä tuottavia kattiloita. Kaasumaisena vetykloridina esiintyvä kloori on pienempi ongelma hitaamman korroosionopeutensa ansiosta. Savukaasujen tulisi silti olla aina yli kastepisteen (100 °C), jolloin väkevää suolahappoa ei pääse muodostumaan. Väkevällä suolahapolla tarkoitetaan nestemäiseen veteen liuennutta vetykloridia.

Rikki ja kloori kilpailevat keskenään alkaleista. Alkaliklorideja ei pääse muodostumaan, mikäli kaasuissa esiintyy riittävästi rikkiä, joka muodostaa natriumin ja kaliumin kanssa sulfaatteja. Jo muodostuneet alkalikloridit voivat myös muuttua takaisin alkalisulfaateiksi. [4, s. 365–366, s. 373]

5 Energiantuotannon puupohjaiset polttoaineet

Puupolttoaineet nousivat vuonna 2012 ensimmäistä kertaa Suomen suurimmaksi energianlähteeksi. Puulla tuotettiin tuona vuonna 331 562 TJ energiaa, kun taas seuraavaksi suurimmalla, öljyllä, tuotettiin 324 903 TJ. Trendi on edelleen kasvava ja vuonna 2013 neljännes Suomessa tuotetusta energiasta oli puupolttoaineita. Biopolttoaineiden käytön lisääminen on tärkeimpiä uusiutuvan energian käytön lisäämisen keinoja Suomessa. [5; 6]

5.1 Puupolttoaineen tärkeimmät laatuominaisuudet

Energiapuun keskeisimpiä ominaisuuksia energiantuotannon näkökulmasta ovat lämpöarvo ja kosteus, sekä polttoaineen käsittelyyn vaikuttavat ominaisuudet kuten tiheys ja palakoko. Käytäessä suuren mittakaavan polttoainekauppaa, polttoaine-erän laatuominaisuudet määritetään laboratoriokokeissa ja erät punnitaan. Pienkaupassa ominaisuudet voidaan arvioida käyttämällä valmiita taulukoita ja kuvaajia. Merkittävin laatuun vaikuttava ominaisuus on kosteus. Koska veden höyrystäminen polttoaineesta sitoo energiaa itseensä, vaikuttaa kosteus suoraan teholliseen lämpöarvoon.

Puupolttoaineiden ominaisuudet määritetään tavallisesti tilavuusmittoina. Tilavuusmittana käytetään kiintokuutiometriä (m^3), mutta koska kiintotilavuuden määrittäminen on hankalaa, se lasketaan usein irtotilavuusmitoista muuntokertoimen avulla ($\text{m}^3/\text{i-m}^3$).

Esimerkiksi hakkeen tiiviys pysyttelee yleensä alueella 0,38–0,44, jolloin useimmiten käytetään muuntolukua 0,40. Tämä tarkoittaa, että yhdestä kiintokuutiometristä puubiomassaa arvioidaan saatavan noin 2,5 i-m^3 haketta. Puubiomassan energiatihedys ollessa yleensä noin 2 MWh/m^3 , saadaan yhden irtokuutiometrin energiatihedeksi 0,8 $\text{MWh}/\text{i-m}^3$. [4, s. 26]

5.1.1 Kosteus

Tuoreen puun kosteus vaihtelee välillä 40–60 %. Sahanpurun kosteus on 50–55 % ja kutterinlastun 5–15 %. Pelletit, jotka valmistetaan kuivasta kutterinlastusta tai sahanpurusta, jäävät kosteudeltaan yleensä alle 10 %. Puun kuoren kosteus vaihtelee 40–65 % välillä ja kantomurske välillä 30–40 %. [2, s. 28–29]

Kosteus määritellään useimmiten kuivaamalla polttoaine-erästä otettu näyte. Kuivaaminen tapahtuu tavallisesti 105 °C:n lämpötilassa olevassa lämpökaapissa ja punnitsemalla näyte-erä kuivauksen jälkeen. Tämä menetelmä sopii termisesti stabiileille polttoaineille. Termisesti stabiililla tarkoitetaan ainetta, joka ei hajoa lämmön vaikutuksesta. Termisesti epästabiileille aineille kosteus voidaan määrittää lämmittämällä ainetta kuivassa typpikaasuvirrassa ja imeyttämällä typen mukana poistunut vesi kuivausaineseen, jonka painonmuutos punnitaan. [4, s. 121–122]

Kuivauksen jälkeen polttoaineen kokonaiskosteus saapumistilassa lasketaan seuraavaa kaavaa käyttäen:

$$M_{ar} = \frac{(m_2 - m_3) + m_4}{(m_2 - m_1)} * 100 \quad [2, s. 73]$$

jossa:

M_{ar}	polttoaineen kokonaiskosteus saapumistilassa massaprosentteina
m_1	tyhjän kuivausastian massa grammoina
m_2	kuivausastian ja näytteen massa grammoina ennen kuivausta
m_3	kuivausastian ja näytteen massa grammoina kuivauksen jälkeen
m_4	pakkaukseen liittynyt kosteuden massa grammoina

5.1.2 Irtotiheys

Metsäpolttoaineet, joilla on alhainen energiatiheys, tarvitsevat 11–15 kertaa enemmän tilaa kuin öljy. Tiivistetyillä metsäpolttoaineilla, eli pelleteillä ja briketeillä, tilantarve on pienempi, noin 3 - 4 kertaa öljyn tarvitsema. Kostean hakkeen irtotiheys on 250–350 kg/i-m³, ja jos hake koostuu hakkuutähteistä, voi irtotiheys nousta jopa 740 kg/i-m³. Mitä kosteampaa polttoaine on, sitä korkeammaksi irtotiheys kasvaa.

Irtotiheyteen vaikuttavat myös monet muut tekijät. Iso tekijä on hakepalojen muoto. Hakepalojen mennessä litteämmäksi irtotiheys laskee. Epätasaisesti jakautuvat palakoot nostavat irtotiheyttä, kun isompien palasten välisten tilat täyttyvät hienojakoisemmalla aineksella. Myös haketettavalla puulajilla on väliä; hauras ja pehmeä puulaji tuottaa enemmän hienoainesta kuin kovat puut. Täten esimerkiksi leppähakkeella on korkeampi irtotiheys kuin koivuhakkeella. Myös jätynyt puu synnyttää enemmän hienojakoista ainesta ja nostattaa irtotiheyttä talvihaketuksissa.

Hakkurin läpi tulleet, pitkiksi jääneet oksat laskevat irtotiheyttä. Puhaltimella toimivan hakkurin käyttäminen saa aikaan korkeamman irtotiheyden kuin vapaalla pudotuksella toimiva kuljetin. Tämä pätee varsinkin kuorman peräpäästä täytettäessä. Mitä voimakkaammin hake iskeytyy kuormaan, sitä tiiviimmin se asettuu. Irtotiheys kasvaa vielä kuljetuksen aikanakin ajoneuvon tärinän vuoksi. [2, s. 29–30]

5.1.3 Tehollinen lämpöarvo

Polttoaineen tärkein ominaisuus on sen lämpöarvo. Lämpöarvo kuvaa polttoaineen täydellisessä palamisessa vapautuvan lämpöenergian määrää. Puupolttoaineille lämpöarvo ilmoitetaan yleensä energiana massayksikköä kohden eli MJ/kg. Lämpöarvosta puhuttaessa tarkoitetaan tavallisesti tehollista, eli alempaa lämpöarvoa. Alemmassa lämpöarvossa kaiken polttoaineen sisältämän veden oletetaan höyrystyvän palamisprosessin yhteydessä, jolloin alempi lämpöarvo kuvaa todellisemmin vapautuvan energian määrää. Ylempi lämpöarvo ei ota huomioon veden höyrystymiseen vaadittavaa energiamäärää, vaan olettaa kaiken veden olevan nesteenä palamisen jälkeen.

Puuaineksen kuiva-aineen tehollinen lämpöarvo on useimmiten välillä 5,1–5,6 kWh/kg (18,3–20,0 MJ/kg). Latvoilla, oksilla ja pienikokoisilla puilla lämpöarvo on hieman runko-puita korkeampi. Puiden kuorissa on korkea lämpöarvo niiden sisältämän huomattavan ligniinimäärän johdosta. Kaikkein korkein tehollinen lämpöarvo kuiva-aineella on männyn kannoilla, sekä koivun tuohella (noin 6,3 kWh/kg). [2, s. 29]

Lämpöarvo voidaan määrittää kalorimetrisesti, jolloin tunnettu määrä tasapainokosteudessa olevaa tai kuivattua polttoainenäytettä poltetaan puhtaassa hapessa, ja mittamalla siitä vapautuva energiamäärä. Standardoidussa menetelmässä polttoaine poltetaan teräksisessä paineastiassa, joka on sijoitettu vesihauteeseen. Poltossa vapautunut energia nostaa veden ja kalorimetrisysteemin lämpötilaa. Kalorimetrinen menetelmän tuloksena saadusta ylemmästä lämpöarvosta voidaan laskennallisesti johtaa polttoaineen tehollinen lämpöarvo. Tähän käytetään tavallisesti ISO 1928 -standardimenetelmän mukaista yhtälöä, eli:

$$Q_{\text{net},v,m} = \left(Q_{\text{gr},v} - 206(H) \right) * \frac{100-M_T}{100-M} - 23M_T \quad [4, \text{s. } 123]$$

missä:

$Q_{\text{net},v,m}$	alempi (tehollinen) lämpöarvo (J/g) kun polttoaineen kosteus on M_T
$Q_{\text{gr},v}$	analysoidun näytteen ylempi (kalorimetrinen) lämpöarvo (J/g)
H	analysoidun näytteen vetypitoisuus painoprosentteina sisältäen myös näytteen kosteuden sisältämän vedyn
M_T	polttoaineen kosteuspitoisuus painoprosentteina, jolle lämpöarvo lasketaan; kuivalle polttoaineelle $M_T = 0$, analyysikostealla näytteelle $M_T = M$, käyttökosteudessa olevalle polttoaineelle $M_T = \text{kokonaiskosteus}$ ja $M = \text{analysoidun näytteen kosteus painoprosentteina}$

Pienemmillä biolaitoksilla ei useimmiten ole kalorimetristä laskentaa käytössä. Tällöin kostean polttoaineen tehollinen lämpöarvo saapumistilassa lasketaan seuraavan yhtälön mukaisesti:

$$q_{p,net,ar} = q_{p,net,d} * \frac{100 - M_{ar}}{100} - 0.02443 * M_{ar} \quad [2, \text{s. } 73]$$

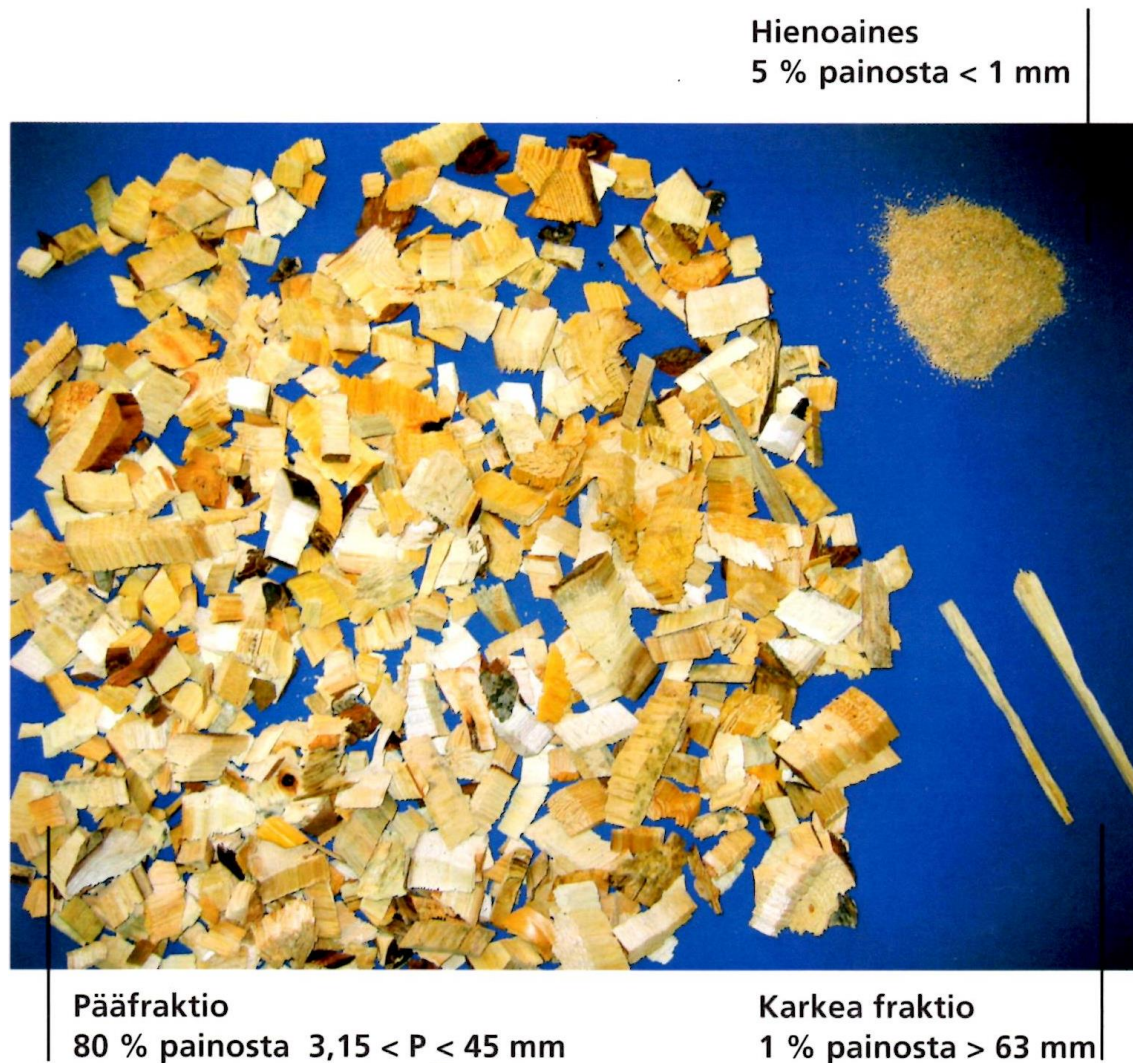
jossa:

$q_{p,net,ar}$	saapumistilaisen polttoaineen tehollinen lämpöarvo (MJ/kg)
$q_{p,net,d}$	kuiva-aineen tehollinen lämpöarvo (MJ/kg) käyttäen keskimääräisiä kuiva-aineen lämpöarvoja
M_{ar}	polttoaineen kokonaiskosteus saapumistilassa massaprosentteina
0,02443	veden höyrystymiseen kuluva lämpömäärä (+25 °C) (MJ/kg)

5.1.4 Palakoko

Mitä pienempi palakoko polttoaineella on, sitä nopeammin ja tehokkaammin se palaa tulipesässä. Biopolttoaineen palakoko voi vaihdella äärimmillään omakotitaloista tuttujen puuhalkojen ja pölymäisen jysinturpeen välillä. Hakkeesta puhuttaessa tarkoitetaan useimmiten palakoon P45 haketta. P45 tarkoittaa haketta, jossa suurin osa puuaineesta on 3,15 - 45 mm:n kokoisina kappaleina (kuva 9).

Polttoaineen reaktiopinta on kääntäen verrannollinen palakokoon, jolloin pientä palakokoa sisältävään polttoaineeseen puhallettu palamisilma joutuu kiertelemään monen kappaleen ohi matkallaan palamiskerroksen läpi. Palamisilman tunkeutuvuus on tärkeä muistaa polttoainetta valittaessa, koska liian hienojakoinen polttoaine johtaa partikkeleiden lentoonlähtoon kesken palamisen tai saattaa estää ilman läpipääsyn kokonaan. Näin voi käydä esimerkiksi jysinturpeelle, joka muodostaa "lauttoja" arinan pinnalle. Tästä syystä arinapoltossa ei suositella käytettävän puhdasta jysinturvetta, vaan se tulisi sekoittaa muun polttoaineen sekaan. [4. s. 469]



Kuva 9. Kokoluokan P45 haketta [2, s. 71]

5.2 Hake

Hake on yleisnimitys mekaanisesti terävillä terillä pilkotulle puubiomassalle. Haketta voidaan periaatteessa tehdä mistä tahansa puumateriaalista, joka kokonsa puolesta voi mennä hakkurin läpi. Hakkeen palat ovat suorakaiteen muotoisia, palakoko on tasainen ja koko riippuu hakkureissa käytettävien seulojen silmäkoosta (kuva 10).

Hakkeen laatuluokat (CEN/TS 14961)

Velvoittavat	Päätaulukko			
	Kauppanimike:		Puuhake	
	Mitat (mm) ^{a)}			
	P16 P45 P63 P100	Pääfraktio > 80 % painosta	Hienoaines < 5%	Karkea fraktio palan maksimipituus
		3,15 mm ≤ P ≤ 16 mm	< 1 mm	max 1 % > 45 mm, kaikki< 85 mm
		3,15 mm ≤ P ≤ 45 mm	< 1 mm	max 1 % > 63 mm
		3,15 mm ≤ P ≤ 63 mm	< 1 mm	max 1 % > 100 mm
		3,15 mm ≤ P ≤ 100 mm	< 1 mm	max 1 % > 200 mm
	Kosteus (p-% saapumistilassa)			
	M20	≤ 20 %	Kuiva Varastointikelpoinen Rajoitettu varastointi	
	M30	≤ 30 %		
	M40	≤ 40 %		
	M55	≤ 55 %		
	M65	≤ 65 %		
	Tuhka (p-% kuiva-aineesta)			
A0.7	≤ 0,7 %			
A1.5	≤ 1,5 %			
A3.0	≤ 3,0 %			
A6.0	≤ 6,0 %			
A10.0	≤ 10,0 %			
Typpi, N (p-% kuiva-aineesta)				
N0.5	≤ 0,5 %	Typpi on velvoittava vain kemiallisesti käsitellylle biomassalle		
N1.0	≤ 1,0 %			
N3.0	≤ 3,0 %			
N3.0+	> 3,0 % (todellinen arvo on ilmoitettava)			
Opastavat	Tehollinen lämpöarvo $q_{p,net,ar}$ (MJ/kg saapumistilassa) tai energiasisältö, E_{ar} (kWh/irto- m^3)		Vähittäismyyjän ilmoitettava arvo	
	Irtotiheys saapumistilassa (kg/irto- m^3)		Ilmoitettava seuraavissa luokissa, jos kauppa käydään tilavuuden perusteella (BD200, BD300, BD450)	
	Kloori, Cl (kuiva-aineesta, w-%)		Ilmoitettava luokka-arvona Cl 0.03, Cl 0.07, Cl 0.10 ja Cl 0.10+ (if Cl >0,1% todellinen arvo on ilmoitettava)	
	^{a)} Palakoon arvot viittaavat seulojen pyöreisiin silmäkokoihin (3,15 mm, 16 mm, 45 mm, 63 mm ja 100 mm). Todellisten palojen mitat vaihtelevat, erityisesti palan pituus.			

Kuva 10. Hakkeen laatuluokittelu [2, s. 70]

Hakkeen alalajeja ovat rankahake, kokopuuhake ja metsätähdehake. Hakkeet eritellään myös tuoreutensa puolesta ruskeaan ja vihreään hakkeeseen. Ruskeassa hakkeessa on vain vähän lehti- ja neulasmassaa. Viherhakkeessa tuoreet lehdet ja neulaset ovat mukana. [2, s. 68]

5.2.1 Rankahake

Rankahake (kuva 12) on pelkästään puun rungosta valmistettua haketta. Rankahakkeen käytetystä puusta on karsittu oksat pois, jolloin kuoren ja lehti-/neulasmassan osuus jää pienemmäksi. Rankahake on laatuominaisuuksiltaan parasta haketta, ja se valmistetaan usein runkohukkapuusta. Runkohukkapuulla tarkoitetaan korjuussa ja metsänhoitotoissa käyttämättä jäävää puuta. [2, s. 68]



Kuva 11. Rankahaketta

5.2.2 Kokopuuhake

Kokopuuhakkeella tarkoitetaan kaadettua ja karsimatonta puuta ilman juuristoa. Tähän sisältyy rungon ja oksiston lisäksi myös lehti- tai neulasmassa (kuva 12). Kokopuuhake on kuivumisajasta riippuen ruskeaa tai viherhaketta. [2, s. 67]



Kuva 12. Kokopuuhaketta

5.2.3 Metsätähdehake

Metsätähdehake on nimensä mukaisesti tähteitä, jotka jäävät yli puun korjuussa ja nuorta metsää harvennettaessa. Metsätähteitä ovat pääasiassa oksat ja latvustot, mutta hake voi sisältää myös runkohukkapuuta. Metsätähdehakkeessa kuoren ja lehti- tai neulasmassa osuudet kokonaispainosta ovat hakealalajeista korkeimmat. Kuivumisesta riippuen viheraines on mukana tai puuttuu. [2, s. 68]

5.3 Murske

Murskeella on vaihteleva palakoko ja muoto (kuva 13). Mursketta valmistetaan murskaimella, jossa tylpät työkalut, kuten telat tai vasarat, hienontavat puuaineksen. Murske on haketta heikkolaatuisempaa puupolttoainetta sen vaihtelevien laatuominaisuuksien vuoksi. Kuoren ja maa-aineksen osuus murskeissa on useissa tapauksissa hakkeita korkeampi. Esimerkiksi maasta revityt kannot, joissa on välillä paljonkin maa-ainesta jäljellä, useimmiten murskataan. Tylpät työkalut kestävät maa-aineksessa mahdollisesti olevia kiviä ja muita epätasaisuuksia paljon hakkurin leikkaavia teriä paremmin. [2, s. 68]



Kuva 13. Mursketta

5.4 Turve

Turve on hyvin kosteissa olosuhteissa osittain hajonnutta kasvimateriaalia. Kasvava turvekerros vaatii hapettomat olosuhteet ja runsaasti vettä. Suomen pinta-alasta lähes kolmasosa on turvemaita, joista energiaturpeen tuotannossa oli vuonna 2009 noin 62 000 hehtaaria. Turpeen uusiutumisaika on 2000 - 3000 vuotta, jolloin se on Suomessa määriteltä hitaasti uusiutuvaksi luonnonvaraksi.

Turpeella on viime vuosina katettu noin 5 - 7 % Suomen vuosittaisesta energiantuotannosta. Energiantuotannossa käytetään sekä jyrsin- että palaturvetta (kuva 14). Hienojakoista jyrsinurvetta käytetään voimalaitoksissa usein seostettuna muun polttoaineen kanssa. Palaturvetta käytetään lähinnä lämmöntuotantoon maataloilla, kasvihuoneissa ja omakotitaloissa. Palaturpeen halkaisija on 40 - 70 mm ja pituus vaihtelee 50 ja 200 mm:n välillä. [7; 8]



Kuva 14. Vasemmalla jyrsinurvetta, oikealla palaturvetta [9; 10]

6 LAKA-Y 2,5 MW -kaasutuspolttokattilan puhdistus

Lämpökattilan puhdistus suoritetaan Tellan valmistamalla 26,9 kW:n teollisuusimurilla. Imuri on suunniteltu lähinnä kuivien kohteiden puhdistukseen, jolloin esimerkiksi märän tuhkan imurointi aiheuttaa tukoksia sen letkussa, ja kosteus saattaa rikkoa sen moottorin. Imuri on erittäin tehokas, joten imuroijan on oltava varovainen ja vältettävä suoraa ihokontaktia imurin imevän pään kanssa. Erityisesti tulee välttää kontaktia kasvojen kanssa. Aina, kun imuri sammutetaan, tulee sen takapuolella oleva luukku avata, ja pitää avoinna, kunnes moottori on pysähtynyt. Tällöin imurin moottori ja puhallin eivät joudu liian kovan rasituksen alaiseksi tehonsyötön katkettua, ja imurin käyttöikä pitenee.

Imurointia varten imurin letku nostetaan toiseen kerrokseen yläovien kautta ja sidotaan kuormaliinalla kiinni polttoainemakasiinin viereiseen kannatinpalkkiin. Sidonta tulee tehdä imurin kaksiosaisen letkun liitoskohdasta. Tällöin painavampi, letkun erikoisvahvistettu osa jää liinan kannateltavaksi, ja kevyempi jää vapaasti syötettäväksi kattilan sisälle imuroijan tarpeiden mukaan. Ennen noston aloittamista imurin koko letku on tarkistettava mahdollisten halkeamien, painautumien tai repeämien varalta.

Imurointia tulee kullakin hetkellä olla suorittamassa kaksi henkilöä; toisen työskennellessä lämpökattilan sisällä on toisen oltava ulkopuolella imuroijaa avustavissa tehtävissä. Avustajan tehtävinä on helpottaa imuroijan toimea syöttämällä ja vetämällä imurin letkua imuroijan komentojen mukaisesti ja hakemalla tarvittavia lisätyökaluja. Avustaja myös varmistaa läsnäolollaan imuroijan työturvallisuuden olemalla tähän koko ajan puheyhteydessä. Imurointia ei saa missään nimessä suorittaa yksin.

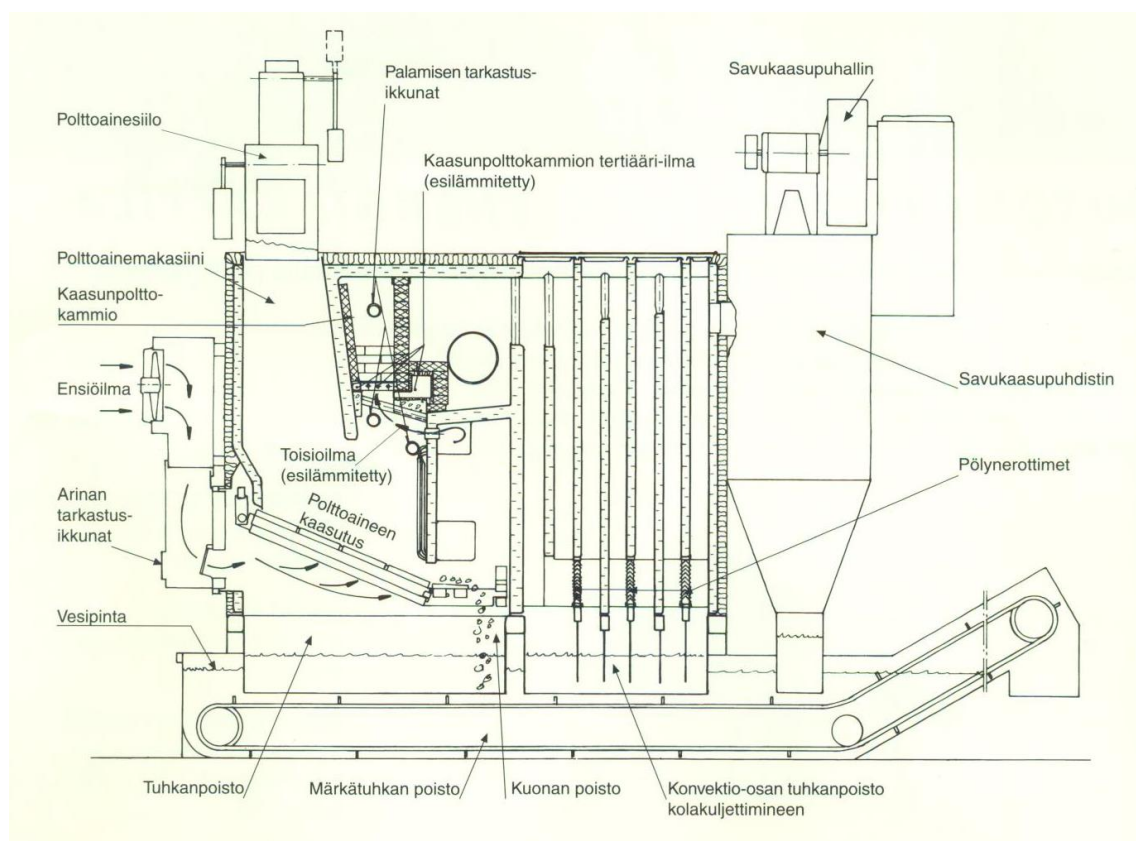
Siirryttäessä kattilan sisälle työskentelemään tulee henkilön aina käyttää hengitys- ja silmäsuojaimia. On myös suositeltavaa pitää koko ajan pieni veto päällä. Tämä tapahtuu pitämällä savukaasupuhallin päällä. Savukaasupuhallin käännetään ohjauspaneelistä käsiajolle, minkä jälkeen säädetään savukaasupuhaltimen taajuusmuuttajasta alipaine sopivaksi. Kun imurin letku syötetään kattilaprosessin alkupäässä olevista luukuista, eikä muita luukkuja ole myöhempänä savukaasukanavistossa auki, tuo alipaine imuroijalle raikasta ilmaa. Ensio- ja toisiopuhaltimia ei saa käyttää tähän tarkoitukseen niiden tuhkaa nostattavan vaikutuksen vuoksi.

Tulityöt on hoidettava erityisellä varovaisuudella. Tulityöpaikalla on aina oltava sammutuslaitteistoa ja työstettävän kohdan ympäristö on suojattava kipinöiltä tarpeen mukaan.

Töiden valmistuttua työstettyä kohtaa on vaihdettava paikasta riippuen 30 min - 2 h. Mahdollisia puikkohitsaustöitä tehdessä tulee käyttää oikeaa puikkoa kussakin tulityöpis- teessä. Puikot ovat materiaalikohtaisia, joten esimerkiksi sekapuikolla ei ole sallittua hit- sata haponkestäviä teräksiä yhteen.

Epävarmoissa tilanteissa havaituista asioista tulee konsultoida Laatukattilalta sähköpos- titse kuvien kera. Kiireellisissä tapauksissa voidaan myös soittaa suoraan Simo Lampi- selle (puh. 0400 233 710) tai Markku Lampiselle (puh. 0400 737 567). Havaitut tai epäillyt viat tulee käsitellä ensimmäisenä materiaali- ja komponenttitilauksia varten.

- Simo Lampinen (kattilan toiminta) - simo.lampinen@laka.fi
- Markku Lampinen (toimitusjohtaja) – markku.lampinen@laka.fi
- Ilkka Sillanpää (tekninen johtaja) – ilkka.sillanpää@laka.fi



Kuva 15. LAKA-Y 2,5 MW -kaasutuspolttokattilan rakenne

6.1 Polttoainesiilo ja -makasiini

Kaukolämpökattilan puhdistus aloitetaan polttoainesiilon sisäpintojen puhdistuksella. Siilon sisäpinnoille kerääntyy hiiltynyttä kuonaa, joka irrottaessa putoaa arinoiden päälle, josta se voidaan poistaa imuroinnin yhteydessä. Hakesiilossa olevan polttoaineen määrää valvovan pintavahdin anturin lukupää ja 20 mm paksusta lasista tehty anturin valvonta-aukko puhdistetaan.

6.2 Tulipesä

Siilon jälkeen laskeudutaan arinoiden päälle ja aloitetaan kaasuuntumistilan puhdistus. Arinoilta imuroidaan kaikki irtomateriaali ja avataan arinoiden ilmaraot tukkeutumista. V-muotoisille arinalevyille muodostuva kovettunut tuhkakertymä jätetään paikalleen. Tuhkakerrokset eristää hyvin arinan palotapahtumasta lisäten arinoiden lämmönkestävyyttä ja käyttöikä. Kattilan sisäpinnat ja tulistusputket raapataan mahdollisimman puhtaaksi.

Samassa tilassa, ennen tulistusputkia sijaitsevat kattilakivet puhdistetaan samalla. Kivien läpi virtaa ensiö- ja toisioilmaa, ja kivien muodostama ilmanavisto kerää tuhkaa sisäänsä. Kivien kaikki reiät ja raot tulee puhdistaa irtotuhkasta. Vaikeasti puhdistettaviin paikkoihin voidaan käyttää apuna paineilmaa irrottamaan jämähtäneet tuhkakerrokset. Tällöin puhdistettavaa tilaa sekä imuroidaan että puhalletaan samaan aikaan. Syntynyt pyörteinen ilmavirta irrottaa tehokkaasti tuhkaa puhdistuen paremmin kuin pelkkä imurin alipaine. Mahdolliset puhdistamatta jääneet kerääntymät voivat seuraavan kauden aikana aiheuttaa tukoksia.

Kivet keräävät kauden aikana paljon kovettunutta tuhka- ja kuonakerrostumaa pinnoilensa. Kerrostumat voidaan irrottaa käsin, mutta on todennäköistä, että puhdistaja tarvitsee esimerkiksi vasaran ja taltan apua. Kerroksen alta voi paljastua halkeamia, joten järeämpiä työkaluja käyttäessä on noudatettava varovaisuutta, ettei kiville tule aiheutettua ylimääräistä vahinkoa. Löydetyistä halkeamista otetaan kuvat ja epäselvissä tilanteissa konsultoidaan korjaustarve kattilan valmistaneelta yritykseltä, Laatukattilalta.

Jos kattilakivien vaihtotarve on huomattava, tulee vaihdettavien kivien määrä ja mitat ilmoittaa LaatuKattilalle mahdollisimman aikaisessa vaiheessa. LaatuKattilalla on rajoitettu määrä muotteja kunkin kattilamallin kiville, eikä kiviä pystytä valamaan useita kerralla.

6.3 Kattilan kurkku

Tulistusputkien yläpuolella on kattilan kurkku. Kurkkuun pääsee kolmea kautta; arinoiden päältä tulistusputkien välistä, kattilan kyljessä olevan luukun kautta, tai ensimmäisten lämmönsiirtimien päällä sijaitsevista räjäytyslukuista. On suositeltavaa imuroida kurkun alueen irtotuhkaa kattilan kyljen räjähdysluukusta mahdollisimman paljon ennen sisälle siirtymistä. Pienistä kattilakivistä muurattu kurkku tulee imuroida varovaisesti, koska imuri on tarpeeksi tehokas repimään vaurioituneet tiilet irti seinämästä. Kivien väleissä on myös lämmönkestävää eristysvillaa, jonka imuroimista tulee välttää. Kun kurkun alue on imuroitu, kaikki kivet käydään läpi samalla tavalla kuin aiemmin arinan päällä.

6.4 Tuhkanpoistoalue

Vasta kun arinoiden yläpuolinen alue on puhdistettu, siirrytään arinoiden alle tuhkatilaan. Aluetta voidaan puhdistaa myös ilman imuria, kaapimalla tuhkaa pudotusaltaaseen ja ajamalla tuhkakuljetinta käsiajolla. Tätä ei kuitenkaan saa tehdä, mikäli joku työskentelee välittömästi samassa tilassa tuhkankuljettimen kanssa, kuten lämmönsiirtimien alla. Tuhkakuljettimen reunoille kerääntyvä tuhka kerää kostetutta kapillaari-ilmiön takia, huolto-
seisokin aikana nämä kerääntymät tulee irrottaa. Alueen imuroinnin jälkeen se käydään magneetilla läpi alueelle jääneiden rautakappaleiden löytämiseksi. Tuhkankaristimien alle jääneet rautanaulat aiheuttavat tarpeetonta kulumista kattilan pohjalle.

6.5 Kuonanpudotusalue

Arinoiden ja lämmönsiirtimien välissä, takaportin takana on kuonanpudotus. Tämä alue on kytköksissä kattilakivien ilmanavistojen kiertoon, joten alueen virtausaukot pitää puhdistaa huolellisesti. Samalta alueelta on myös helppo puhdistaa tuhkanpudotuksen takaportinpuoleista päätyä, jonne olisi muuten hankala yltää arinoiden alapuolelta.

6.6 Lämmönsiirtimet

Kattilan lämmönsiirtimet puhdistetaan avaamalla yläluukut ja nuohoamalla lämmönsiirtimien pintojen välit tehtävään tarkoitettulla pitkävartisella perlonharjalla. Harjalla tehdään kahdesta kolmeen edestakaista, koko lämmönsiirtimeen pituuden harjaavaa liikettä jokaiselle raolle. Tätä toistetaan, kunnes kaikki lämmönsiirtimet on puhdistettu. Lämmönsiirtimien pinnasta irtoava aines putoaa alas tuhkankaristimille.

Kattilan lämmönsiirtimet jakautuvat kolmeen alueeseen, joista jokaiselle on omat luukut kattilan päällä ja alhaalla kyljessä. Kun lämmönsiirrin on nuohottu, avataan alhaalta sivuluukku, jonka kautta pudonnut tuhka poistetaan. Tuhka voidaan poistaa joko imuroidalla tai pudottamalla se keskellä olevaan tuhka-altaaseen, josta se voidaan ajaa kolajettimella tuhkavaunuun.

Lämmönsiirtimien alla ovat pölynerottimet. Nämä ritilät, joita on kaksi peräkkäin, irrotetaan vetämällä alaluukkujen läpi. Kun tuhkankaristimien läpiviennit on avattu, tulee sekä tuhkankaristimet, pölynerottimet että karistimet jakava tuhkalevy irrottaa ja puhdistaa ulkona. Näin jäljellä olevien lämmönsiirtimien tuhka-alueet ovat huomattavasti vaivattomampia puhdistaa ja tarkistaa.

Jos puhdistajalla on vaikeuksia alaluukua vastapäätä olevan tason imuroinnissa, voidaan imurointi suorittaa avatun tuhkankaristimen läpiviennin kautta. Tällöin imurointi tehdään läpiviennin kautta kattilan ulkopuolelta puhdistajan samalla puhaltaessa paineilmaa pitkävartisella paineilmapistoolilla alaluukusta puhdistettavalle alueelle. Kun savukaasupuhallin on pois päältä, imeytyy kaikki ilmaan noussut tuhka läpiviennistä imuriin. Läpivienti avataan irrottamalla tuhkankaristimen ja karistinhydrauliikan välinen, kattilan läpi menevä terästanko molemmista päistään ja vetämällä tanko ulos. Myös tankoja tukevat läpivientien pyöreät, kolmella kuusiokolopultilla kiinni olevat tiivistysrenkaat avataan, jotta tangot saadaan helpommin irti. Renkaiden sisällä on kuumankestävästä villasta punnottua eristenauhaa, jota ei tule heittää pois, ellei se ole kulunut käyttökelvottomaksi. Kun alaosa on puhdistettu, käydään lämmönsiirtimet vielä läpi paineilman ja imurin kanssa; paineilmaa puhalletaan kaikkiin väleihin yläluukusta käsin, samalla kun alaluukusta imuroidaan kaikki lämmönsiirtopinnoilta irtoava tuhka. Näin varmistetaan, ettei pinnoille jää ylimääräistä tuhkaa nuohouksen jälkeenkään.

6.7 Ilmanesilämmitin

Lämmönsiirtimien ja savukaasusykloneiden välissä oleva palamisilman esilämmitin, eli luvo, on ohitettu. Ohitettu esilämmitin ei kerää paljoa tuhkaa tai pölyä käyttökauden aikana, mutta isoimmat epäpuhtaudet tulee puhdistaa lämmönsiirtimien puhdistuksen yhteydessä. Näin vältetään ylimääräisiltä imurin letkun nostokerroilta. Kattilan oikealla puolella oleva perimmäinen luukku johtaa palamisilman esilämmittimen alaosaan. Alue imuroidaan muun siivouksen yhteydessä.

6.8 Savukaasunpuhdistimet

Mekaaniset hiukkaserottimet, eli syklonit, sijaitsevat kahden luukun alla, juuri ennen savukaasupuhallinta. Puhdistettaessa sykloneita, kattilan päällä olevat luukut avataan, ja sylinterit nostetaan ulos tuhkanpudotusputkesta. Sylinterit on laskettu neljän kierretangon päälle ja lukittu paikalleen muttereilla. Irrotetut sylinterit ja pudotusputkien sisäpinnat harjataan puhtaiksi. Pudotusputkien sisäpinnoilla olevat pystysuorat metallirivat puhdistetaan huolellisesti ja varmistetaan, etteivät putket ole tukkeutumassa vesirajastaan. Tämä tapahtuu joko alakautta kokeilemalla syklonien pohjaa, tai yläpuolelta tarpeeksi pitkällä nuohousharjalla, joka yltää tuhka-altaaseen asti.

6.9 Savusola

Sykloneiden jälkeen imuroidaan savukaasupuhaltimen jälkeen tuleva savusola savukaasupuhaltimen viereisestä luukusta käsin. Imuroidessa tulee huomioida imurointi koko luukun takaiselta alueelta, eikä vain luukun välittömästä ympäristöstä.

6.10 Tuhkasola

Ennen savupiippua on vielä viimeinen tuhkanerottelu lopullista lentotuhkan poistoa varten. Tuhkasolassa on kaksi luukkua, joista ylempi suositellaan imuroitavaksi ensin. Alemmasta aloittaessa voi ylemmän alueelta pudota isojakin määriä kuivatuhkaa pöllyttäen materiaalia imuroijan kasvoille. Tuhkasolan kyljessä olevan erottelijan vipua vääntämällä saadaan pudotettua mahdolliset jääneet kerääntymät.

6.11 Tuhkakuljetin

Tuhkakuljetin puhdistetaan ajamalla kuljetinta käsiajolla niin kauan, että kuljettimelta ei putoa enää kiinteää tuhkaa tai kovettunutta kuonaa. Myös kolien selkäpuolet kannattaa puhdistaa ylimääräisistä tuhkeräjäntymisistä. Tämä onnistuu helpoiten kuljettimen nousun alkukohdasta, jossa kuljettimet paluukierroksella tulevat näkyviin hetkeksi ennen kuin laskeutuvat jälleen tuhka-altaan vesipinnan alapuolelle. Käsiajopuhdistusta ei tule tehdä kokonaan kerralla, varsinkaan kun kuljetin on vielä täynnä materiaalia. Näin vältetään ylimääräisen veden kerääntymisestä tuhkavaunuun, kun tuhkan annetaan valuttaa siihen kerääntynyt kosteus kuljetinta pitkin takaisin altaaseen ennen sen ajamista vauunuun.

6.12 Puhaltimet, pumput ja hydraulikka

Kattilan puhaltimet ja pumput, sekä laitteiden sähkömoottorit puhdistetaan ulkopuolelta niiden keräämästä pölystä. Kaksi hydraulista keskusjärjestelmää, jotka sijaitsevat tunkkihuoneessa ja kattilahuoneen portaikon alla, puhdistetaan ulkopuolelta huolellisesti.

7 Tarkistus ja huolto

7.1 Polttoainevarasto

Kattilan ja sen oheisjärjestelmien tarkistus voidaan aloittaa ennen kattilan vuosihuoltoa. Jo 7 - 10 päivää ennen seisokkia hakkeen lastaus tankopurkaimien päälle lopetetaan. Näin taataan mahdollisimman vähäinen jäämäpolttoaineen määrä tankopurkaimien päällä. Hydraulisylintereiden sammuttua neljän purkaimen jokaisen kolan saumat kaivetaan esiin ja varmistetaan sauman eheys. Purkaimille on myös tukiraudat, jotka on hitsattu alustaan kiinni. Näillä ohjausraudoilla halutaan estää vetimien sivuttaissuuntainen liike. Tukiraudat tulee myös kaivaa esiin ja tarkistaa. Mahdollisista vioista tehdään merkintä, ja puutokset korjataan.

7.2 Tunkkihuone

Tunkkihuoneesta, jossa hake putoaa kolakuljettimelle, tarkistetaan pudotuksen ja sitä ympäröivän alueen hitsausaumat. Tätä varten käytännössä koko tunkkihuoneen hakealueen ja -kuilun tulee olla täysin puhdistettu polttoainejäämistä. Kuljettimen nousun alkukohta on tiedetysti kovan kulumisen alaisena, ja tämän kohdan pohja vahvikkeineen on tarkistettava erityisen hyvin.

7.3 Kolakuljetin

Kolakuljetin tarkistetaan koko pituudeltaan. Tämä tapahtuu ajamalla kuljetinta eteenpäin ja kokeilemalla liikuttaa käsin jokaista kolaa. Kolan tulee olla jäämäkästi kiinni kuljettimen korvakkeissa. Löysällä olevien kolien kiinnitys kiristetään ja mahdolliset rikkoutuneet kolat ja korvakkeet poistetaan. Samalla tulee myös tarkistaa kuljettimen korvakkeiden hitsausaumat. Mikäli korvake on vain vääntynyt, muttei ratkennut, se on suositeltavaa oikoa. Oikominen tapahtuu lämmittämällä korvaketta vääntyneestä kohdasta kaasupillillä, kunnes korvake hohkaa oranssina. Tämän jälkeen lekalla varovaisesti lyömällä oiotaan taittunut korvake. Puuttuvat kolat ja/tai korvakkeet uusitaan. Kuljettimen muoviset ohjaimet tulee tarkistaa vähintään tunkkihuoneen ja laitoksen sisällä olevan osuuden pituudelta. Huomattavaa kulumista kärsineet osat vaihdetaan.

Kuljettimella tehdessä tulitöitä, kuten korvakkeiden hitsausta, tulee ohjainmuovi suojata huolellisesti kuumenemiselta. Tämä tapahtuu esimerkiksi sijoittamalla paksu rautakappale, kuten irtonainen kola, kuljettimen ketjun ja muoviohjaimen väliin, työstettävän kohdan alle.

7.4 Polttoainemakasiini

Polttoainemakasiinissa on kolme ulkoista luukkua ja kaksi sisäistä. Näiden luukkujen kunto ja tiivistenauhat tarkistetaan ja tarvittaessa nauhat uusitaan. Etenkin sisäisten luukkujen nauhat menettävät ajan myötä elastisuutensa, eivätkä tiivistä enää tarvittavalla tasolla. Vanhentunut nauha irtoaa kovettuneen kitin tavoin, joten esimerkiksi piikkauskooneen käyttö on suositeltavaa nauhoja irrottaessa. Tätä tehdessä tulee varoa aiheuttamasta vahinkoa luukun nauha-uralle. Eristevilloja työstäessä joudutaan käyttämään silmä- ja hengityssuojaimia. Iho on myös peitettävä mahdollisimman kokonaan. Tämä johtuu siitä, että eristevillojen materiaali on hyvin ihoa ärsyttävää. Luukkujen liikeradat tarkistetaan. Tällä tarkoitetaan hydraulisten sisäluukkujen käsiajoa ohjauspaneelisti samalla, kun toinen henkilö valvoo, ettei luukkujen liike tapahdu nytkähdellen, ja että hydraulikka sulkee luukun loppuun asti. Uudesta tiivistenauhasta tulee erottua selkeästi luukun vastakappaleen aiheuttama painauma.

Makasiinissa oleva hakkeen sekoitusruuvien eheys tarkistetaan ratkeamien varalta, sekä ajetaan käsiajolla edestakaisin liikkeen sulavuuden varmistamiseksi. Mikäli sekoitusruuvien kierteet ovat kuluneet, hitsataan ruuviin lisää materiaalia. Korjauskelvottomaksi vaurioitunut ruuvi vaihdetaan. Makasiinin saumat on tarkistettava huolellisesti, koska alue on kärsinyt alasajojen yhteydessä lämmönvaihtelun aiheuttamista metallin laajenemisesta. Siilon sisällä tämä voidaan havaita selkeästi sisäpintojen aaltomaisuuksina. Kaikki saumat siilon sisäältä on puhdistettava ja tarkistettava. Tämä koskee etenkin siilon ja kattilan välistä liitosta.

7.5 Tulipesä

Kattilan viidestä arinasta reunimmaisiiin ja keskimmäiseen on hitsattu 4 - 6 mm:n happoterästangosta leikattuja, noin 4 cm:n pituisia kappaleita eli natileita. Näiden natileiden tehtävä on rajoittaa ja tasoittaa ensiöilman virtausta arinan läpi polttoainekerrokseen.

Natileet on hitsattu tasaisin välimatkoin, joten mahdolliset syntyneet aukot on helppo paikallistaa. Irronneet natileet uusitaan paikallaan olevien natileiden järjestyksen toistuvuutta mukaillen. Arinan V-profiilit käydään kaikki käsin läpi niin, että kiinnitykseltään heikentyneet kappaleet havaitaan ja hitsataan uudelleen kiinni.

Vaurioituneet kattilakivet uusitaan. Kivien asennus vaatii vähintään kaksi työntekijää. Ylempi kivi on ensin laitettava kohdalleen, nostettava ylös ja pidettävä kannateltuna, minkä jälkeen alempi kivi voidaan pujottaa sitä tukeviin rautoihin. Tämän jälkeen ylempi kivi voidaan laskea alemman kiven päälle, ja kivien takana olevaan T-profiiliin asetetaan U-profiilinen lukitusteräs. Tämä lukitsee kivet paikalleen. Kattilakiviä asentaessa arina tulee suojata esimerkiksi styroksilla. Näin vältetään vaurioittamasta sekä arinaa että kiviä, mikäli kivi lipeää asentajien otteesta korjauksen yhteydessä.

Kiviä voidaan joutua muokkaamaan takakulmistaan taltan ja vasaran avulla asennuksen helpottamiseksi. Muokatessa tulee olla hyvin varovainen, ettei kivistä lohkea liikaa materiaalia. Joskus kivet ovat ehjiä muuten, mutta niiden paikalleen lukitsevan U-mallisen teräslevyn tuentakohta on haurastunut. Tällöin päällimmäinen kivi vaikuttaa valahtaneen silminnähtävästi alas ja eteenpäin. Tällöin on suositeltavaa tehdä isompi lukitusteräslevy, joka tulee mitoittaa aina tilanteen mukaan. Lukitusteräs on tehtävä haponkestävästä teräksestä.

Lämpökattilan tulistusputket on jo kertaalleen uusittu niiden tukkeuduttua kuona-aineista. Uudet tulistusputket voivat myös ajan myötä mennä umpeen, joten putket on suositeltavaa käydä läpi koputtelemalla niitä esimerkiksi pienellä vasaralla. Putkista kaikuva ääni tulee olla mahdollisimman yhtenäinen jokaisen putken kohdalla koko pituudeltaan. Kuuntelemalla koputuksesta lähtevää ääntä voidaan ennakoida mahdollisia alkavia tai jo syntyneitä kuonakertymiä.

Palotilan sivuluukut irrotetaan ja tarkistetaan mahdollisten vaurioiden osalta. Myös luukkujen eristeet uusitaan tarvittaessa. Kurkistusluukkujen rikkoutuneet ja tummuneet lasit sekä tiivisteet uusitaan. Lasit ovat lämmönkestävyydeltään erikoisvalmistettuja, ja ne tulee tilata Laatukattilalta.

7.6 Kattilan kurkku

Kurkun vaurioituneet kivet uusitaan tarpeen mukaan. Isot, tulistusputkien päällä sijaitsevat kivet on suunniteltu asennettavaksi tietyssä järjestyksessä. Tämä saattaa tehdä uusien kivien paikalleen asentamisen hankalaksi, koska ehjiä kiviä ei ole suositeltavaa irrottaa uusien asennusta varten. Uusia kiviä saatetaan joutua muokkaamaan taltan ja vasaran avulla palotilan kivien tapaan, jotta ne saadaan asennettua oikealle paikalleen.

Itse kurkun muodostavan, lämmönkestävistä tiilistä muuratun seinämän tulee olla jäykkä ja eheä. Tiiliseinämien jämäkyys voidaan kokeilla työntämällä seinämiä varovaisesti eri suunnilta; mikäli seinä antaa periksi ja liikkuu työnnön mukana, tulee uudelleenmuurausta vähintäänkin harkita. Lisäksi tulee tarkistaa kivien ja muurausten väleissä olevan villoituksen tilanne ja korjata mahdolliset puutteet.

Kurkun kyljessä olevan luukun tiiviste irrotetaan urastaan. Vanha nauha voidaan laittaa takaisin, mikäli se ei ole kovettunut käyttökelvottomaksi. Kovettumaton nauha tulee pöyhii ilmavaksi ja asentaa takaisin. Kovettunut nauha uusitaan. Luukun sisäpinnalla olevan lämpöeristävä kivi uusitaan, mikäli vaurioiden arvioidaan aiheuttavan ongelmia tulevana tuotantokautena. Epäselvissä tilanteissa tulee uusintatarpeesta kysyä kattilan toimittajalta, Laatukattilalta.

Kurkun takana, savukaasukanavassa vasemmalla puolella on tulipesän lämpötilaa mittaava lämpöanturi. Anturi ja mittauspää irrotetaan läpiviennistään ja varovaisen puhdistuksen jälkeen tarkistetaan mahdollisten mekaanisten vaurioiden osalta. Lämpömittaria ei tarvitse kalibroida, ellei sen havaita näyttävän virheellistä lukemaa. Virheellinen lukema voidaan todeta, kun tiedetään kattilan ulkopuolisen tilan lämpötila. Tätä verrataan mittarin lähettämään lämpötilaan, joka nähdään kattilan ohjauslogiikan näyttöpäätteeltä. Mittari on suositeltavaa uusida, mikäli kalibrointia ei voida tehdä.

7.7 Tuhkanpoistoalue

Tuhkanpoistoalueella sijaitseva tuhkankaristin irrotetaan läpivienneistään. Tuhkankaristin tarkistetaan ratkeamien ja korroosion varalta. Karistinta on suositeltavaa työstää kattilan sisällä, mutta korjauksen vaatiessa enemmän huomiota, karistin tulee ottaa ulos

kattilasta. Tällöin sen eri osia yhdistävät pultit irrotetaan, ja osat voidaan poistaa kattilasta yksi kerrallaan takaluukkujen kautta.

Läpiviennit avataan kattilan ulkopuolelta ja läpivientien tiivistenauhat vaihdetaan. Uutta nauhaa laitetaan läpivientiraudan ympärille niin paljon kuin mahdollista. Tuhkankaristinta liikuttavien sylintereiden kunto tarkistetaan. Vuotavat sylinterit vaihdetaan, mikäli esimerkiksi pelkkä sylinterin tiivisteiden uusiminen ei riitä.

Tuhka-allas käydään tarkasti läpi korroosiovahinkojen paikantamiseksi. Emäksinen tuhka ja tuhka-altaasta nouseva vesi ovat hyvin syövyttävä yhdistelmä kattilan lämmön kanssa, ja alueella on jo aiemmin esiintynyt huomattavia korroosiovahinkoja. Löydetty syöpymät poistetaan ja tilalle hitsataan haponkestävää teräslevyä.

Tuhkanpoiston kaikki luukut tarkistetaan. Tiivistenauhat uusitaan tarvittaessa ja tummuneet kurkistusikkunat puhdistetaan tai vaihdetaan. Luukkujen sijainnin määrittelevät mutterit käydään käsin läpi löysien varalta. Paikaltaan liikkuneet luukut kohdistetaan uudelleen niin, että luukun ollessa kiinni kohdistuu painetta tasaisesti koko luukun reunan saumaan.

Arinoiden yläosaa kannattelevat rullat tarkistetaan ajamalla arinoita käsiajolla edestakaisin. Rullien tulee pyöriä arinoiden mukana. Rullan liikkumattomuus voi ensisijaisesti johtua rasvan puutteesta. Mikäli huomataan rullan vaurioituneen riittävästi, jolloin pelkkä rasvan lisäys ei auta, tulee rulla vaihtaa. Rullan vaihtamiseksi tulee sen kannatteleva arina nostaa ylös. Tämä tapahtuu laittamalla arinoiden V-profiilien rakojen läpi isoin mahdollinen sakkeli. Sakkeliin kiinnitetään arinan alle yhden arinan levyinen paksu rautatanko. Arinaa voidaan nyt nostaa sakkelistä ketjutaljalla, joka kiinnitetään siilon ulkopuolelle riittävän jyrkään kannatinpalkkiin. Kun talja on kiinnitetty arinaan, voidaan arinaa liikuttavan läpiviennin tanko irrottaa arinan alapään ohjausraudasta, jossa se on kolmella pultilla kiinni. Nostettu arina tulee aina varmistaa vähintäänkin kuormaliinoilla, koska pelkän ketjutaljan varassa roikkuessaan se aiheuttaisi tarpeettoman työturvallisuusriskin. Kiinnijämähäntänyt rulla irrotetaan leikkaamalla sitä kiinnittävä hitsausseama auki ja vetämällä sisempi tanko ulos. Rullaa saatetaan joutua kuumentamaan, jotta isompi holkki laajenee. Kuumentaessa pienempään kohdistetaan esimerkiksi pulloputkilla työntävä voima, jolloin isomman tarpeeksi laajennuttua saadaan pienempi vedettyä pois. Pulloputkkaa käyttäessä on varottava rullien korvakkeiden taittumista. Pahasti jämähtänyt rulla saatetaan joutua polttoleikkaamaan irti.

7.8 Kuonanpudotusalue

Kaasuuntumistilan ja kuonanpudotuksen jakavan takaportin eheys tarkistetaan ja mahdolliset repeämät hitsaussaumoissa tai kokonaan irronneet levyt paikataan. Takaporttia liikuttava sylinteri tarkistetaan vuotojen tai löystyneen kiinnityksen osalta. Kuonanpudotusalueen pohja ja tuhkasola tarkistetaan ja paikataan korroosiovaurioiden osalta samaan tapaan tuhkanpudotusalueen kanssa. Pudotusalueen kummankin puolen sivuluukut huolletaan. Vaurioituneet tiivistenauhat uusitaan.

7.9 Lämmönsiirtimet

Kattilan puhdistuksen yhteydessä lämmönsiirtimien alta irrotetut pölynerottimet, tuhkan- karistimet ja karistimet jakava välirauta tutkitaan korroosion varalta. Kun lämmönsiirrinten alapuolinen alue on tyhjä, tutkitaan alueiden pohja, seinämät sekä tuhkasola korroosion varalta. Kattilalla on tiedossa oleva korroosio-ongelma lämmönsiirtimien loppupäässä alueilla, joissa ei ole käytetty haponkestävää terästä. Paikkaamattomat alueet tulee tutkia koputtelemalla metallisia seinämiä ja pohjaa. Myös jo hitsatut korjauslevyt tulee tutkia sauman eheyden ja korjausten toimivuuden todentamiseksi. Vaurioituneet alueet voidaan paikantaa niistä lähtevä erilaisen äänen perusteella. Mahdollisille löydetuille syöpymille mitoitetaan sopivat happoteräksestä tehdyt levyt ja syöpyneet osat poistetaan tarvittaessa. Uudet levyt hitsataan paikalleen.

Alueella hitsatessa tulee huomioida, että kattilan seinämien sisällä kiertää vettä RHS-palkkien yläpuolelta alkaen. Tätä palkkia ylempiin osiin tulee välttää hitsaamasta mitään mahdollisen vesivuodon estämiseksi. Paineistetun säiliön hitsaaminen vaatii hitsaajalta erikoisluvut.

Tuhkankaristimien hydrauliset sylinterit tarkistetaan vuotojen tai vääntyneiden työntövarsin varalta. Vaurioituneet sylinterit uusitaan tarvittaessa. Läpivientien tiivistenauhat uusitaan.

Lämmönsiirtimien alkupäässä kattilan yläpuolella on neljä kappaletta punaisia räjäytysluukkuja. Näiden luukkujen tiivistenauhat irrotetaan uristaan. Mahdolliset ongelmat luukun tiiveydessä voidaan paikantaa luukun tiivistysuran ulkopuolelle syntyneistä tummentumista. Löydettyjen tummentumien kohdalta luukkuja tai luukkujen vastauraa voidaan

joutua oikomaan. Erityisesti näiden luukkujen urien tiivistenauhojen tulee olla elastiset, jotta luukun tiiveydestä voidaan varmistua. Kovettuneet nauhat vaihdetaan uusiin, mikäli nauhojen pöyhminen osoittautuu mahdottomaksi. Räjäytyslukkujen pohjiin on pultattu lämmönkestävät kivet. Näiden kivien kiinnitys on tarkoituksellisesti löysällä, jolloin kivet lepäävät omalla painollaan urassaan. Kivien kiinnitystä ei saa kiristää. Mikäli havaitaan kivien tai luukkujen vaurioituneen huomattavasti, tulee kohteen korjaustarvetta tiedustella Laatukattilalta.

Kattilan päällä olevat, lämmönsiirrinten mustat luukut tulee tarkistaa muiden luukkujen tapaan. Luukkuja irrottaessa pitää huomioida, että niiden paikkaa tai asentoa ei saa muuttaa. Sama luukku on asennettava takaisin samoin päin, kuin se oli ennen irrotusta. Lämmönsiirtimien alaosassa olevat punaiset luukut myös tarkistetaan tiiveyden ja eheyden osalta. Luukuille tehdään samat huoltotoimenpiteet kuin kattilan muille luukuille.

7.10 Ilmanesilämmitin

Palamisilman esilämmittimen ohituksen tiiveys tulee tarkistaa huolellisesti. Tämä tapahtuu parhaiten ajamalla savukaasupuhallinta käsiajolla ja seuraamalla ohituksen välitöntä ympäristöä. Isommat vuodot voidaan havaita käsituntumalla, mutta on suositeltavaa käydä ohituksen kaikki saumat savukynän kanssa läpi. Näin huomataan pienemmätkin vuodot. Havaitut vuodot hitsataan umpeen, mutta isompien ongelmien ilmetessä tulee mahdollisesti koko ohitus uusita. Koko ohituksen uusinta on suositeltavaa suunnitella Laatukattilan kanssa yhteistyössä.

Pahasti korroosiosta kärsineen ilmanesilämmittimen lämmönsiirrinalue on tarkistettava niin hyvin kuin suinkin mahdollista. Aluetta on hankala nähdä, mutta jos ohitus uusitaan, antaa se lisää näkymää alueelle. Ohituksen ollessa paikallaan pystyy huoltohenkilökunta tutkimaan ilmanesilämmittimen kuntoa ainoastaan sen päältä löytyvistä aukoista. Tarkistuksessa voidaan käyttää apuna valokuitukameraa. Kameralla päästään syvemmälle ilmanesilämmittimeen, mikä mahdollistaa alueen kunnon tarkemman analysoinnin.

7.11 Savukaasunpuhdistimet

Sykloneista ylös nostettujen sylinterien eheys ja korroosio tarkistetaan. Mahdolliset ratkenneet saumat sylintereiden välillä sekä sylintereiden ja kannatinlevyn välillä hitsataan uudelleen. Kierretankojen kunto tarkistetaan.

Syklonin sisäpinnoilla olevat pystysuorat rautalevyt, rivat, rajoittavat pyörteisen virtauksen nopeutta sisäpintojen rajapinnassa ja siten parantavat sykloneiden käyttöikää. Rivattoman syklonin tiedetään kuluneen puhki jopa viikoissa nopean virtauksen kuluttavuuden johdosta. Mikäli rivojen todetaan kuluneen liian mataliksi, hitsataan vanhojen tilalle uudet. Rivojen tarkat spesifikaatiot ovat saatavilla Laatukattilalta, mutta pienissä, paikallisissa paikkauksissa tulee käyttää vähintään 5 mm paksua ja 50 mm leveää happoteräslevyä. Paksumpi levy kestää kulumista ja korroosiota pidempään, mutta ei ole välttämätön.

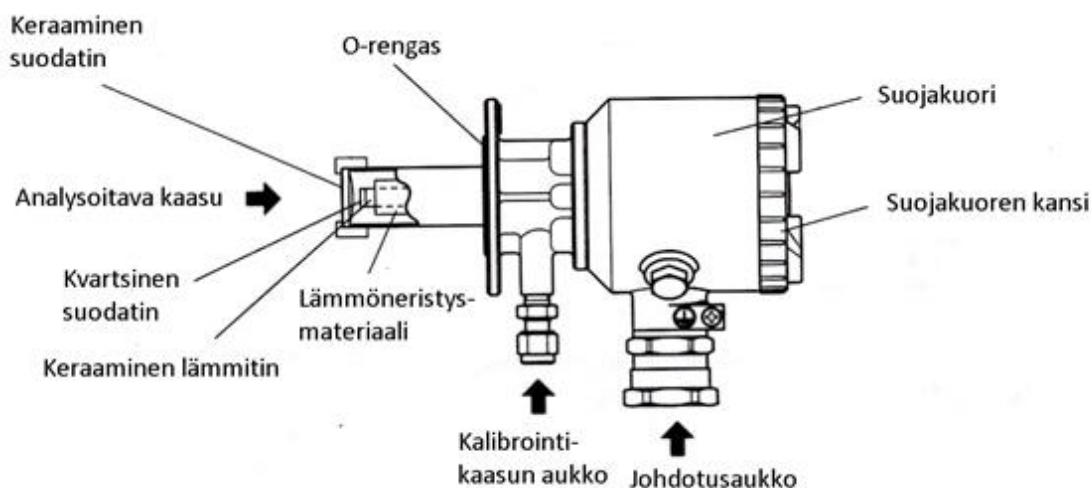
Syklonien sisäpinnat tulee tutkia huolellisesti mahdollisten reikien varalta. Tämä voidaan tehdä ainoastaan sisäpintoja tarkastelemalla tehokkaan valon avulla, mutta on suositeltavaa poistaa syklonien eristysvillat ja valaista sykloneita ulkopuolelta mahdollisimman tehokkaalla lampulla. Tällöin yläpuolelta voidaan havaita vuotokohdat syklonin läpi kajakstavasta valosta. Havaitut vuodot paikataan tilanteen mukaan joko pelkällä hitsauksella, tai uusimalla isompi osa syklonin pintaa. Isompia huoltotoimia varten on suositeltavaa olla yhteydessä Laatukattilaan.

Mikäli syklonit tarkistetaan eristyksen sisäpuolelta, on suositeltavaa tarkastaa myös eristyksen kunto ja eristeen määrä, sekä korjata havaitut puutteet.

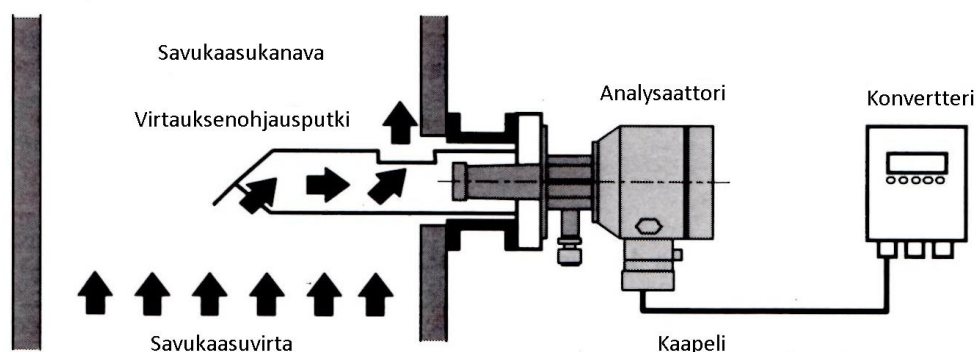
7.12 Happianalysaattori

Kattilan happianalysaattori sijaitsee savukaasupuhdistimien ja savukaasupuhaltimen välissä. Huoltoa varten analysaattori irrotetaan. Tämä tapahtuu avaamalla sitä kiinnipitävät pultit ja vetämällä analysaattori ja virtauksenohjain ulos. Analysaattorin huoltoa ei saa missään nimessä tehdä ilman ohjekirjaa.

Happianalysaattorin sisällä oleva O-rengas sekä keraaminen suodatin (kuva 16) vaihdetaan, sekä mittauspää ja virtauksenohjain puhdistetaan samassa yhteydessä. Kun huoltotoimet on suoritettu, tarkistetaan analysaattorin tarkkuus mittaamalla ulkoilman happipitoisuutta. Savukaasuanalysaattorin kattilasta mittaama happipitoisuus on kuivien savukaasujen happipitoisuus eli vesihöyry on eroteltu muista kaasuista. Tästä johtuen analysaattorin ulkoilmasta mittaama lukema on hieman pienempi kuin tyypillinen hapen määrä, 20,95 %, ilmassa. Mikäli havaitaan ero analysaattorin ja todellisen happimäärän välillä, tulee mittari kalibroida ohjekirjan ohjeiden mukaan. Jos kalibroinnin jälkeenkin analysaattorin arvon todetaan olevan väärä, tulee ottaa yhteys laitteen maahantuojaan. Analysaattoria takaisin asennettaessa on ehdottoman tärkeää asettaa virtauksenohjain avoin pää virtausta vasten (kuva 17).



Kuva 16. Happianalysaattori



Kuva 17. Analysaattorin asennus takaisin savukaasukanavaan

7.13 Savusola

Savusolan sisäpuoli tutkitaan korroosioaurioiden varalta. Tämä tapahtuu valon ja esimerkiksi pienen vasaran avulla. Pelkkä savusolan sisäpuolen silmämääräinen arviointi ei välttämättä ole riittävä, joten sisäpuolta on syytä koputella varovasti ja kuunneltava metallista lähtevää ääntä. Ruostumaan alkanut metalli kuulostaa selkeästi erilaiselta ehjään verrattuna. Tarkistus tehdään niin isolta alueelta, kuin vain on mahdollista yltää savusolan puhdistusluukusta. Mikäli havaitaan poikkeamia, tulee savusolan ympäröivät eristeet purkaa lisätutkimusta varten. Mahdollinen havaittu syöpymä korjataan poistamalla savusolasta riittävän iso alue syöpymän ympäriltä ja paikkaamalla se happoteräksestä valmistetulla levyllä.

7.14 Tuhkanpudotus

Tuhkanpudotuksessa tärkeimmät tarkistettavat kohdat ovat erotteluluukun kunto ja alueelle johtavien luukkujen tiiveys. Erotteluluukku ja sen ympäröivä alue ovat ison osan vuodesta emäksisen tuhkan peitossa, joka on mahdollisesti aiheuttanut korroosiota alueella. Luukkurakenteesta, tuhkanpudotuksesta ja savukaasukanavasta tulee etsiä alkavia ja jo syntyneitä vaurioita. Luukun liikkeen sulavuus on myös varmistettava. Tuhkanpudotukseen johtavat luukut irrotetaan ja niiden tiiveys tarkistetaan. Eristettä joko lisätään tai se uusitaan, mikäli havaitaan vanhojen eristeiden rapautuneen niin, että niiden ei uskota enää pitävän savukaasuja tai alueelle tiivistynyttä kosteutta sisällä.

7.15 Tuhkakuljetin

Tuhkakuljettimen kaikki kolat käydään hakekuljettimen kolien tapaan käsin läpi. Paras kohta tarkistaa kolat on savukaasusyklonien pudotuksen ja tuhkakuljettimen nousun alkupään välissä. Kuljetinta ajetaan käsiajolla ja kolien kiinnitys tarkistetaan kokeilemalla käsin heiluttaa jokaista kolaa. On suositeltavaa tehdä tarkistus useassa osassa, esimerkiksi viiden kolan segmenteissä. Tällöin tuhkan kuljettimeen mahdollisesti jäänyt tuhka ehtii valuttaa osan siihen sitoutuneesta kosteudesta ennen putoamista tuhkan kuljetusvaunuun.

7.16 Puhaltimet, pumput, Cirex ja hydraulikka

Mikäli revision aikana irrotetaan esimerkiksi shunttipumppu huoltoa tai vaihtoa varten, tulee pumppua takaisinasennettaessa liottaa laippojen tiivisteerenkaat yön yli hydraulikkaöljyssä. Irrotettaessa pumppua on pumpun kummallakin puolella olevat, lähimmät sulut suljettava. Pumppuun ja sulkujen väliseen putkistoon jäänyt vesi tulee ulos pumpun irrotuksen yhteydessä. Tällöin tulee varmistaa, ettei vesi aiheuta esimerkiksi sähkövahinkoa, joidenkin pumppujen ollessa toisessa kerroksessa. Putkisto on myös tuettava tarvittaessa, ettei putkille koidu ylimääräistä rasitusta pumpun tuennan kadottua.

Cirex-järjestelmä ylläpitää kattilan vedenkierron painetta. Cirexin vesisäiliön pinnankorkeuden ilmoittava läpinäkyvä letku puhdistetaan. Cirexin välittömässä läheisyydessä olevassa putkistossa on jousitoimisia suuntaventtiileitä, joiden herkkyys tarkistetaan. Tämä tapahtuu sulkemalla venttiilin molemminpuoliset sulut, avaamalla venttiili ja kokeilemalla käsin jousen toiminta. Kumiset tiivisteet tarkistetaan rappeutuman varalta samalla. Samassa putkistossa on myös pienmateriaalin verkkoerottimia. Nämä suodattimet avataan ja tarkistetaan. Avatessa venttiili tai suodatin, tulee myös sormilla tutkia putkiston sisäpinnalle kertyneen materiaalin määrä.

Hydraulisten järjestelmien suodattimet vaihdetaan. Hydraulikkaöljysäiliöiden öljymäärä tarkistetaan ja lisätään tarvittaessa hydraulikkaöljyä. Hydraulikkakoneisto, -putkisto ja -sylinterit käydään läpi vuotojen varalta, ja havaitut puutteet korjataan tarpeen mukaan.

7.17 Sähkökaappi

Lämpökattilan sähkökaappi käydään lämpökameralla läpi. Lämpökameran kuvasta voidaan havaita mahdolliset kuumat kohdat kaapin sisällä. Kuumat kohdat viittaavat heikentyneeseen tai löystyneeseen liitokseen. Kaikki sähköjohtojen ruuvikytkennät käydään läpi ja kiristetään pienellä talttapäisellä ruuvimeisselillä.

7.18 Rasvaus

Kattilan ulkopuolisia osia rasvataan pitkin käyttökautta, mutta sisäpuoliset liikkuvat osat voidaan rasvata vain huoltoseisokin aikana. Mekaaninen arina ja arinan takaportti ovat ainoat kattilan sisällä olevat liikkuvat osat. Arina rasvataan sitä ylhäältä kannattelevista rullista ja alaosan nivelistä. Takaportti rasvataan koko pituudeltaan. Kaikkiin sisäpuolella oleviin rasvausnippoihin puristetaan rasvaprässillä Wolfrakote-kuumankestovaseliinia 3 - 5 painallusta. Myös kattilan läpiviennit rasvataan kuumankestovaseliinilla tiivistenauhojen huollon jälkeen. Lämpökattilan muihin rasvattaviin kohtiin käytetään yleisvaseliinia. Myös ulkopuoliset osat rasvataan revision aikana.

8 Loppusanat

Työn primäärisenä tavoitteena oli luoda ohjekirja Tuusulan Energia Oy:n Hyrylän hake-lämpölaitoksen kattilan vuosihuoltoja varten. Työhön koottu, kahden henkilökohtaisesti suoritettun vuosihuollon antama käytännön kokemus on hyvä peruslähtökohta tulevien vuosien revisioita varten. Huoltoa tekevän henkilön on kuitenkin pidettävä avoin mieli myös opinnäytetyössä mainitsemattomien ongelmien varalta, koska kahdessa vuodessa ei mitenkään voi ilmetä kaikkia kattilalle mahdollisia ongelmia.

Hakelämmityksen ollessa vain murto-osa koko energia-alasta, ovat opinnäytetyön tekeminen ja revisioiden hoitaminen antaneet loistavan näkökulman siihen tarkkuuteen, jota teknisen alan huolto- ja kunnossapitotöissä sekä niiden suunnittelussa vaaditaan. Odotan suurella mielenkiinnolla ensimmäistä opinnäytetyöni pohjalta tehtyä revisiota ja toivon tämän manuaalin täyttävän sille asettamani tavoitteet.

Lähteet

- 1 Tuusulan Energia Oy:n kotisivut. Yritysesittely. Verkkodokumentti. <http://www.tuusulanenergia.fi/yritys.html>. Luettu 27.1.2014
- 2 Kokkonen A. & Lappalainen I. 2005. Hakelämmöstä yritystoimintaa. Kuopio: Offsetpaino L. Tuovinen
- 3 Hakesampo Oy:n kotisivut. Yritysesittely. Verkkodokumentti. <http://www.hakesampo.fi/yritys.html>. Luettu 20.1.2014.
- 4 Raiko R., Saastamoinen J., Hupa M. & Kurki-Suonio I. 2002. Poltto ja palaminen. Toinen täydennetty painos. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy.
- 5 Tilastokeskus. Puun ja kivihiilen käyttö kasvoi energian tuotannossa tammi-syyskuussa. Verkkodokumentti. http://www.tilastokeskus.fi/til/ehk/2013/03/ehk_2013_03_2013-12-20_tie_001_fi.html. Luettu 3.2.2014.
- 6 Tilastokeskus. Puupolttoaineet nousivat suurimmaksi energialähteeksi vuonna 2012. Verkkodokumentti. http://www.stat.fi/til/ehk/2012/ehk_2012_2013-12-12_tie_001_fi.html. Luettu 3.2.2014.
- 7 Energiateollisuus. Energialähteet: Turve. Verkkodokumentti. <http://energia.fi/energia-ja-ymparisto/energialahteet/turve>. Luettu 7.2.2014.
- 8 Turveinfo. Turpeen tuotanto. Verkkodokumentti. <http://www.turveinfo.fi/turve/turve-tuotanto>. Luettu 7.2.2014.
- 9 Vapo. Jyrsinturve. Verkkodokumentti. <http://www.vapo.fi/tuotteet-ja-palvelut/yritykset-ja-kunnat/energiaturve/jyrsinturve>. Luettu 7.2.2014.
- 10 Vapo. Palaturve. Verkkodokumentti. <http://www.vapo.fi/tuotteet-ja-palvelut/kotitaloudet/palaturve>. Luettu 7.2.2014

Revision tarkistuskaavake

Tässä liitteessä on tarkistuslista revision yhteydessä täytettäväksi. Kaavake toimii muistilistana ja apuvälineenä kattialle suoritettavista toimenpiteistä ja edellisten vuosien havainnoista.

LAKA-Y 2,5 MW -kaasutuspolttokattilan vuoden _____ vuosihuolto

Alasajon päivämäärä _____._____., ylösajo _____._____.

Merkitse Puhdistus-, Tarkistus- ja Rasvattu-ruutuihin rastit toimenpiteen valmistuttua. Kirjoita muihin ruutuihin tarvittava tieto päivämäärineen ja jatka yksityiskohtaisemmin viimeiselle sivulle, sekä tarvittaessa sivujen kääntöpuolille.

Kohde	Puhdistettu	Tarkistettu	Puutteita havaittu	Puutteet korjattu	Rasvattu	Huomioitavaa
Polttoainetarasto						
Tunkkihuone						
Kolakuuljetin						
Polttoainemakasiini						
Kattilan kurkku						
Tuhkanpudotus						

Kohde	Puhdistettu	Tarkistettu	Puutteita havaittu	Puutteet korjattu	Rasvattu	Huomioitavaa
Kuonanpudotus						
Lämmönsiirtimet						
Ilmanesi-lämmitin						
Savukaa-sunpuh-distimet						
Happiana-lysaattori						
Savusola						
Tuhkanpudotus						
Tuhkakul-jetin						

